



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**INTEGRASI PERHITUNGAN RUGI-RUGI TRANSMISI  
PADA *DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH*  
MENGUNAKAN METODE LAGRANGE**

**Azfar Muhammad  
NRP 2213 106 004**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**INTEGRATION OF TRANSMISSION LOSSES  
CALCULATION FOR DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH  
USING LAGRANGE METHODE**

**Azfar Muhammad  
NRP 2213 106 004**

**Advisor  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016**

**INTEGRASI PERHITUNGAN RUGI-RUGI TRANSMISI PADA  
*DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH* MENGGUNAKAN METODE  
LAGRANGE**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D**

**Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**

**NIP. 194907151974121001**

**NIP. 197411292000121001**

**SURABAYA  
JANUARI, 2016**

# **INTEGRASI PERHITUNGAN RUGI-RUGI TRANSMISI PADA *DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH* MENGGUNAKAN METODE LAGRANGE**

Nama : Azfar Muhammad  
Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D  
Pembimbing II : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Perhitungan pembagian pembebanan pembangkit agar mendapatkan total biaya pembangkitan minimum berdasarkan periode waktu dan beban tertentu disebut *Dynamic Economic Dispatch (DED)*. Salah satu factor yang menentukan keoptimalan perhitungan DED adalah penerapan perhitungan rugi-rugi daya pada DED. Perhitungan rugi-rugi daya tersebut didapat dari perhitungan analisa aliran daya Newton Raphson yang kemudian diterapkan pada perhitungan DED untuk mendapatkan total biaya pembangkitan minimum.

Perhitungan DED diperlukan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dalam memenuhi kebutuhan beban. Bila hanya mengandalkan pembagian pembebanan berdasarkan analisa aliran daya saja tanpa melakukan perhitungan DED, maka total biaya pembangkitan yang dihasilkan akan lebih mahal.

Pada tugas akhir ini menggunakan Metode Lagrange untuk menghitung biaya minimum pembangkitan dari suatu daya beban. Selain itu, terdapat 2 kasus yang dilakukan untuk melakukan pengujian, kasus skala kecil dan kasus skala besar. Tugas akhir ini mengembangkan software Powergen sebagai interface untuk menghitung DED yang memperhitungkan losses.

Hasil pengujian tugas akhir ini terlihat bahwa hasil perhitungan DED dengan mempertimbangkan rugi-rugi daya akan menghasilkan total biaya pembangkitan yang lebih murah dibandingkan hasil pembagian pembebanan dengan menggunakan analisa aliran daya.

**Kata Kunci :** *Dynamic Economic Dispatch, Lagrange, Newton Raphson, Powergen.*

# ***INTEGRATION OF TRANSMISSION LOSSES CALCULATION FOR DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH USING LAGRANGE METHOD***

Name : Azfar Muhammad  
Advisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D  
Advisor II : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## ***ABSTRACT***

*Calculation of generation partition in order to get the total of minimum generation cost based on several times and loads is called Dynamic Economic Dispatch (DED). One important factor that determine optimization of DED calculation is the calculation of power loss at DED. Calculation of Power loss is derived from the calculation of Newton Raphson load flow analysis which is applied to the calculation of DED to get minimum cost of generation.*

*DED calculation is needed to minimize the generation cost in order to fulfill the power demand. If we just use load flow analysis to get the generation partition without using DED calculation, total generation cost will be more expensive.*

*This final task using Lagrange Methode to calculate total of minimum generation cost from power demand. In addition, there are 2 cases that will be tested, the case of small scale and the case of large scale. This final task will develop Powergen as an interface to calculate DED with power losses.*

*Result of testing this final task shows that the result of DED calculation with using power losses will be cheaper than the result of load flow analysis generation partition.*

***Keywords :*** *Dynamic Economic Dispatch, Lagrange, Newton Raphson, Powergen.*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* Robbil 'Alamin, puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia yang tak terhingga berupa kesabaran, ketegaran, dan kekuatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini salah satunya bertujuan untuk memenuhi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan masukan serta bimbingannya.
2. Kepada Papa Mama tercinta, Abang dan Kakak tersayang serta segenap keluarga lainnya yang tak putusya memberikan semangat, mendoakan serta memberikan segala bentuk dukungan untuk keberhasilan ananda.
3. AP, Perempuan yang telah memberikan semangat, dukungan, kasih sayang, serta doa kepada penulis.
4. Teman-teman sekontrakan seperjuangan tugas akhir, kimi, pepap, bg fadli, pras, depa, bambeng, dan danar serta seluruh teman yang sering berkunjung ke kontrakan yang selalu memberikan semangat, tawa dan canda dalam tugas akhir ini.
5. Teman-teman satu topik tugas akhir, teman-teman seangkatan power LJ 2013, serta seluruh keluarga besar Elektro ITS yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika .....	3
1.7 Relevansi atau Manfaat.....	4
BAB 2 <i>DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH</i> DENGAN	
MEMPERHITUNGKAN RUGI-RUGI DAYA.....	5
2.1 Karakteristik Pembangkit Thermal.....	5
2.1.1 Karakteristik Unit Pembangkit .....	5
2.1.2 Bentuk Pemodelan Unit Pembangkit .....	6
2.2 <i>Dynamic Economic Dispatch</i> (DED).....	9
2.2.1 Perhitungan <i>Dynamic Economic Dispatch</i> .....	9
2.2.2 Perhitungan daya rugi-rugi transmisi (Ploss) .....	12
2.2.3 Matriks <i>Bloss</i> .....	12
2.3 Metode Lagrange .....	13
2.4 Delphi .....	14
BAB 3 <i>DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH</i> DENGAN	
MEMPERHITUNGKAN RUGI-RUGI DAYA.....	19
3.1 Algoritma Pembuatan Tugas Akhir .....	19
3.2 Integrasi Perhitungan Rugi-Rugi Daya Transmisi pada	
Perhitungan DED dengan menggunakan Metode <i>Lagrange</i>	
.....	20

3.2.1	Perhitungan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan metode Newton Raphson .....	22
3.2.2	Perhitungan Economic Dispatch dengan memperhitungkan rugi-rugi transmisi menggunakan metode iterasi lambda ...	25
3.3	Rancangan <i>Software</i> Perhitungan DED Dengan Memperhitungkan <i>Losses</i> .....	29
BAB 4 HASIL SIMULASI DATA DAN ANALISA .....		33
4.1	Kasus 3 Pembangkit 5 Bus .....	33
4.2	Kasus 6 Pembangkit 26 Bus .....	43
BAB 5 PENUTUP .....		55
5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA .....		57
LAMPIRAN.....		I
RIWAYAT PENULIS .....		V



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema boiler-turbin-generator pada pembangkit thermal.	6
<b>Gambar 2.2</b>	Kurva input-output pembangkit tenaga uap[1] .....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Representasi karakteristik kenaikan panas[1] .....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Karakteristik incremental rate[1] .....	8
<b>Gambar 2.5</b>	Konsep iterasi lambda[1] .....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Tampilan <i>Integrated Development Environment</i> Delphi .	15
<b>Gambar 2.7</b>	Tampilan <i>Form Designer</i> .....	16
<b>Gambar 2.8</b>	Tampilan <i>Tool Palette</i> .....	16
<b>Gambar 2.9</b>	Tampilan <i>Object Inspector</i> .....	17
<b>Gambar 2.10</b>	Tampilan <i>Object Treeview</i> .....	17
<b>Gambar 2.11</b>	Tampilan <i>Code Editor</i> .....	18
<b>Gambar 2.12</b>	Tampilan <i>Project Manager</i> .....	18
<b>Gambar 3.1</b>	Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir .....	19
<b>Gambar 3.2</b>	Alur Rancangan Perhitungan Optimasi DED dengan memperhitungkan <i>Losses</i> .....	21
<b>Gambar 3.3</b>	Alur Perhitungan metode iterasi lambda dengan .....	28
<b>Gambar 3.4</b>	Tampilan menu utama <i>Powergen</i> .....	29
<b>Gambar 3.5</b>	Tampilan menu DED+ <i>Bloss</i> .....	31
<b>Gambar 3.6</b>	Tampilan pengisian data-data DED+ <i>Bloss</i> .....	31
<b>Gambar 3.7</b>	Tampilan Hasil Perhitungan DED+ <i>Bloss</i> .....	32
<b>Gambar 4.1</b>	One-Line Diagram 3 pembangkit 5 bus .....	33
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Software Powergen</i> yang dikembangkan .....	35
<b>Gambar 4.3</b>	Tampilan menu DED+ <i>Bloss</i> .....	35
<b>Gambar 4.4</b>	Kurva Beban 24 jam yang akan diproses .....	38
<b>Gambar 4.5</b>	Perbandingan grafik total biaya pembangkitan .....	40
<b>Gambar 4.6</b>	Single-Line Diagram 6 Pembangkit 26 Bus .....	43
<b>Gambar 4.7</b>	Kurva beban 24 jam .....	49
<b>Gambar 4.8</b>	Kurva Hasil Perhitungan DED 24 jam .....	50

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Tabel databus 3 pembangkit 5 bus .....	34
<b>Tabel 4.2</b> Tabel <i>Linedata</i> 3 pembangkit 5 bus .....	34
<b>Tabel 4.3</b> Tabel koefisien <i>cost</i> pembangkit .....	34
<b>Tabel 4.4</b> Tabel batasan daya pembangkit.....	34
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan hasil perhitungan DED+ <i>Bloss</i> .....	36
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan hasil matriks <i>Bloss</i> dan <i>Gencost</i> hasil analisa	36
<b>Tabel 4.7</b> Tabel beban plant 5 bus 3 pembangkit periode 24 jam .....	37
<b>Tabel 4.8</b> Tabel hasil perhitungan DED 24 jam .....	39
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Rugi-Rugi Daya.....	40
<b>Tabel 4.10</b> Selisih Perhitungan DED dan Analisa Aliran Daya .....	41
<b>Tabel 4.11</b> Selisih biaya perhitungan DED dengan analisa aliran daya	43
<b>Tabel 4.12</b> Tabel busdata 6 Pembangkit 26 Bus.....	44
<b>Tabel 4.13</b> Tabel <i>Linedata</i> .....	45
<b>Tabel 4.14</b> Tabel koefisien <i>cost</i> pembangkit.....	46
<b>Tabel 4.15</b> Tabel batasan daya pembangkit.....	46
<b>Tabel 4.16</b> Hasil perhitungan Delphi dan MATLAB pada beban 1263 MW .....	47
<b>Tabel 4.17</b> Kurva Beban Harian 24 jam.....	48
<b>Tabel 4.18</b> Tabel hasil perhitungan DED 24 jam .....	49
<b>Tabel 4.19</b> Perbandingan Rugi-Rugi Daya.....	51
<b>Tabel 4.20</b> Selisih perhitungan DED dan perhitungan aliran daya.....	52
<b>Tabel 4.21</b> Perbedaan hasil perhitungan DED dan analisa aliran daya	53

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Analisis perhitungan untuk mendapatkan perhitungan biaya minimal suatu pembangkitan sangat diperlukan untuk meminimalkan dan mengoptimalkan pengeluaran. Analisis perhitungan ini disebut dengan *Economic Dispatch* (ED). Persamaan yang ada pada ED ini akan berubah berdasarkan perubahan waktu dan beban yang disebut dengan *Dynamic Economic Dispatch* (DED). Pada tugas akhir ini, rugi-rugi transmisi yang menjadi salah satu faktor perhitungan pada ED akan diperhitungkan berdasarkan perubahan waktu dan beban. Dengan memperhitungkan rugi-rugi transmisi berdasarkan keadaan yang sebenarnya berdasarkan perubahan waktu dan beban, maka diharapkan perhitungan DED akan lebih optimal. Pada suatu power plant pembangkit menuju beban, dapat dilakukan suatu analisis aliran daya untuk menghitung total daya pembangkitan yang harus dibangkitkan oleh pembangkit. Dengan data daya keluaran pembangkit tersebut dapat dihitung total biaya pembangkitan yang harus dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan beban tersebut. Dengan menggunakan perhitungan DED yang mempertimbangkan rugi-rugi yang dibahas pada tugas akhir ini, total biaya pembangkitan yang harus dikeluarkan oleh pembangkit dapat diminimalkan dengan melakukan optimasi perhitungan pada daya yang dikeluarkan oleh pembangkit tersebut.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menghitung ED. Salah satunya dan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah dengan menggunakan metode *Lagrange*. Metode ini mencari biaya paling minimal berdasarkan besarnya lambda yang didapat dari persamaan ED. Karena tugas akhir ini memperhitungkan DED, yaitu nilai ED yang berubah berdasarkan perubahan waktu, maka akan terdapat perubahan besarnya nilai lambda yang optimum setiap terjadi perubahan waktu dan beban.

Simulasi yang biasa digunakan untuk mendapatkan ED maupun DED adalah MATLAB, akan tetapi tidak semua pengguna dapat menggunakan script yang berada pada MATLAB. Oleh karena itu pada tugas akhir ini menggunakan Delphi untuk mempermudah pengguna menghitung ED maupun DED. Delphi merupakan bahasa pemrograman berbasis *Windows* yang menyediakan fasilitas pembuatan aplikasi visual.

Delphi memberikan kemudahan dalam menggunakan kode program, kompilasi yang cepat, penggunaan file unit ganda untuk pemrograman modular, pengembangan perangkat lunak, pola desain yang menarik serta diperkuat dengan bahasa pemrograman yang terstruktur dalam bahasa pemrograman *Object Pascal*. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mengembangkan aplikasi *software* berbasis Delphi yang bertujuan untuk mempermudah pengguna dalam menghitung DED.

## **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perubahan waktu dan beban terhadap besarnya rugi-rugi transmisi?
2. Bagaimana pengaruh perubahan besarnya rugi-rugi transmisi terhadap perhitungan DED?
3. Bagaimana cara mengoptimalkan perhitungan DED?
4. Bagaimana cara pengembangan *software* untuk mempermudah *user* menghitung nilai DED?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar tugas akhir ini tidak menyimpang dari tujuan dan penelitian maka diambil batasan masalah sebagai berikut:

1. Memperhitungkan *Bloss* matriks dari hasil analisis aliran daya Newton Raphson.
2. Perhitungan dan Analisa aliran daya Newton Raphson tidak menjadi bahasan pada tugas akhir ini, metodenya saja yang digunakan untuk menghitung *Bloss* yang akan dibahas.
3. Menggunakan metode iterasi Lambda untuk menyelesaikan persamaan *Economic Dispatch*.

## **1.4 Tujuan**

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menghitung pengaruh besarnya rugi-rugi transmisi dan beban terhadap perhitungan DED serta untuk mengembangkan aplikasi *software* yang dapat menyelesaikan perhitungan DED. Hal ini bertujuan agar aplikasi *software* tersebut dapat digunakan dengan baik oleh pengguna sehingga mempermudah pengguna untuk menghitung nilai DED.

## 1.5 Metodologi

Penulisan dan penyusunan tugas akhir ini menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Studi literatur untuk mencari referensi bahan melalui buku, jurnal ilmiah (*paper*), dan *browsing* melalui internet yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Pustaka-pustaka yang dicari mengenai DED, *Bloss*, Metode *Lagrange* serta buku pemrograman Delphi.
2. Pengenalan dan pembelajaran *software*  
Pengenalan dilakukan untuk mengenali *software* yang akan digunakan dan melakukan pembelajaran mengenai program-program yang akan digunakan pada *software*.
3. Perancangan perhitungan *Bloss* sebagai rugi-rugi transmisi serta penerapannya pada *software*.  
Setelah perhitungan *Bloss* diterapkan dan dibuat dalam struktur logika perhitungan, maka selanjutnya diimplementasikan ke dalam *software*
4. Pengambilan dan analisa data serta analisis kerja *software*  
Perhitungan yang sudah dilakukan dan diterapkan ke dalam *software* dianalisis kembali kebenaran datanya atau tidak serta pengecekan kerja *software* berdasarkan data perhitungan yang sudah dilakukan sudah sesuai perhitungan atau belum.
5. Pengecekan dan penyelesaian akhir *software*  
*Software* dilakukan pengecekan akhir sudah sesuai dengan tujuan untuk mempermudah *user* untuk menghitung DED atau belum serta melakukan penyelesaian akhir dari skftware yang masih dianggap kurang memuaskan.
6. Kesimpulan dan pembuatan laporan  
Dari analisa data akan didapatkan kesimpulan. Pada tugas akhir ini bertujuan untu mendapatkan aplikasi perhitungandari DED.

## 1.6 Sistematika

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan masing-masing bab diuraikan sebagai berikut:

1. BAB 1 merupakan bagian pendahuluan yang berisikan latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi atau manfaat.
2. BAB 2 berisikan tentang teori-toeri penunjang yang membahas tentang tugas akhir.

3. BAB 3 berisikan tentang uraian dari perencanaan, pembuatan, dan diimplementasikan ke dalam *software* yang dikembangkan.
4. BAB 4 berisikan tentang hasil pengujian *software* yang dikembangkan dan implementasi pengaruh beban terhadap DED
5. BAB 5 berisikan tentang kesimpulan dan saran-saran dari pembuatan sampai implementasi ke *software*

### **1.7 Relevansi atau Manfaat**

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagi pengguna *software* (perusahaan listrik, akademisi, dll)  
Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kemudahan bagi pengguna *software* dalam menghitung nilai DED terhadap perubahan rugi-rugi transmisi dan beban, tanpa harus menggunakan MATLAB.
2. Bagi ilmu pengetahuan dan mahasiswa  
Tugas akhir ini diharapkan dapat membantu perkembangan ilmu pengetahuan sebagai alat bantu perhitungan nilai DED yang mudah digunakan.

## BAB 2

### ***DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHITUNGKAN RUGI-RUGI DAYA***

#### **2.1 Karakteristik Pembangkit Thermal**

Ada banyak parameter dalam analisis pengaturan operasi sistem tenaga. Hal yang paling mendasar dalam masalah operasi ekonomis adalah karakteristik *input-output* pada pembangkit *thermal*. Untuk menggambarkan karakteristik *input-output*, perlu diketahui bahwa *input* merepresentasikan sebagai masukan total yang diukur dalam satuan biaya/jam dan *output* merupakan daya keluaran listrik yang disediakan oleh sistem pembangkit tenaga listrik.

##### **2.1.1 Karakteristik Unit Pembangkit**

Setiap pembangkit memiliki karakteristik masing-masing. Perbedaan karakteristik unit pembangkit menyebabkan setiap unit pembangkit memiliki porsi yang berbeda-beda dalam mensuplai beban uatu sistem tenaga listrik. Secara umum pembangkit digolongkan menjadi tiga yaitu pembangkit beban dasar (*base load*), pembangkit beban menengah (*load follower*) dan pembangkit beban puncak (*peaker*).

Pembangkit dengan karakteristik yang kurang fleksibel – pembangkit yang tidak dapat dihidupkan dan dimatikan dalam waktu singkat yang mengharuskan pembangkit tersebut beroperasi terus-menerus disebut pembangkit beban dasar (*base load*). Hal ini dikarenakan sebagai pembangkit *base load*, target daya terbangkitkan dari pembangkit cenderung konstan. Pembangkit *base load* umumnya berskala besar dan memiliki biaya produksi yang lebih murah apabila dibandingkan dengan pembangkit tipe lain.

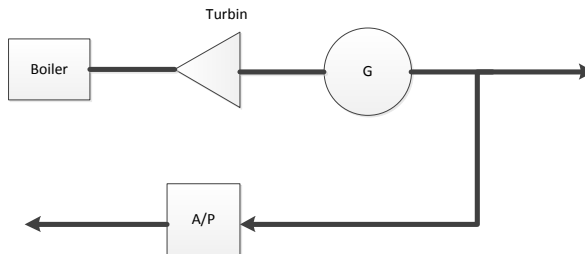
Pembangkit kelompok *load follower* meliputi pembangkit yang lebih fleksibel namun lebih mahal dari pembangkit *base load*. Contoh pembangkit jenis ini adalah PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap) gas dan PLTU minyak.

Pembangkit golongan yang terakhir adalah pembangkit yang difungsikan sebagai pemikul beban puncak (*peaker*). Pembangkit golongan ini meliputi pembangkit yang fleksibel. Fleksibel baik dalam kecepatan perubahan pembebanan maupun operasi hidup dan mati pembangkit. Pembangkit jenis ini rata-rata berkapasitas di bawah 100

MW. Contoh dari pembangkit jenis ini adalah PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) minyak, PLTD serta PLTA waduk.

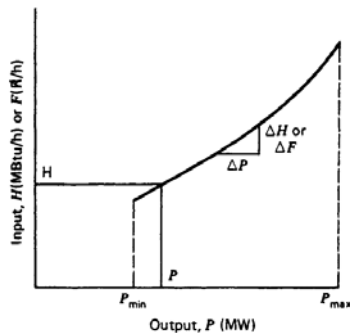
### 2.1.2 Bentuk Pemodelan Unit Pembangkit

Pada pembangkit *thermal*, karakteristik *input-output* pembangkit merupakan dasar penyusunan fungsi biaya. Pembangkit thermal sederhana terdiri dari boiler, turbin uap dan generator. *Input* boiler adalah bahan bakar dan *output* berupa uap. *Input* dari turbin-generator berupa uap dan *output* nya berupa daya listrik. Dengan menggabungkan karakteristik *input-output* dari boiler dan turbin generator, maka dapat diperoleh persamaan karakteristik dari keseluruhan sistem pembangkit.



**Gambar 2.1** Skema boiler-turbin-generator pada pembangkit thermal

Setiap pembangkit memiliki karakteristik *input-output* dan karakteristik *incremental rate* (baik *incremental heat* maupun *incremental cost*).



**Gambar 2.2** Kurva *input-output* pembangkit tenaga uap[1]

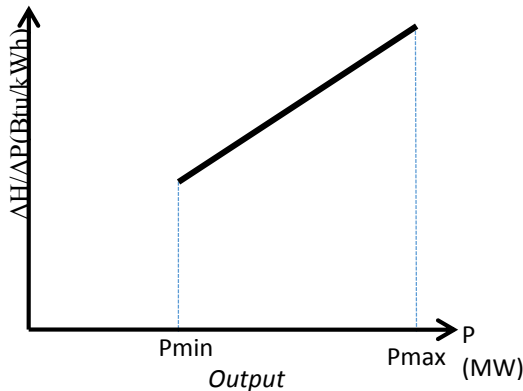


Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik *input-output* dari suatu unit pembangkit thermal. Karakteristik *input-output* dari pembangkit dari pembangkit *thermal* merupakan hubungan antara *input* berupa bahan bakar yang digunakan dengan *output* berupa daya yang dibangkitkan tiap pembangkit. *Input* bahan bakar dinyatakan dalam bentuk MBtu/h atau konsumsi energi sedangkan *output* daya dinyatakan dalam bentuk MW atau daya yang dibangkitkan.

Selain biaya bahan bakar yang dikonsumsi, biaya operasi juga meliputi biaya tenaga kerja, biaya pemeliharaan, biaya transportasi bahan bakar, dan lain-lain. biaya-biaya itu sulit direpresentasikan sebagai fungsi biaya dari daya *output* yang dihasilkan generator. Karena permasalahan yang dimaksudkan, biaya-biaya itu diasumsikan sebagai bagian *fixed cost* dari biaya operasi[2], dan akan diabaikan dalam proses pengerjaan pada tugas akhir ini.

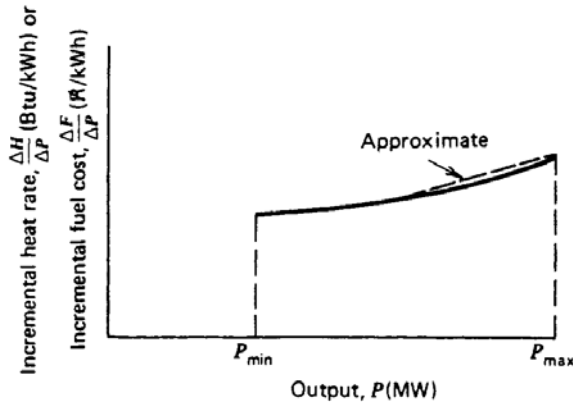
*Input* unit yang ditunjukkan pada sumbu ordinat dapat diterjemahkan pula dalam bentuk kebutuhan energi panas (Mbtu/jam) atau bentuk biaya total per jam (R/jam). *Output* adalah *output* daya listrik dari unit tersebut. Karakteristik yang ditunjukkan adalah bentuk ideal sehingga tampak halus berupa kurva cembung.

Karakteristik kenaikan panas dari unit pembangkit uap diperlihatkan pada gambar 2.3 karakteristik ini adalah kemiringan dari karakteristik *input-output* ( $\Delta H/\Delta P$  atau  $\Delta F/\Delta P$ ). Data yang ditunjukkan pada kurva ini ditampilkan dalam satuan Btu per kilowatt jam (R per kilowatt jam).



**Gambar 2.3** Representasi karakteristik kenaikan panas[1]

Karakteristik *incremental rate* pembangkit thermal merupakan hubungan antara perubahan daya pembangkitan yang dihasilkan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan. *Incremental rate* menunjukkan seberapa besar biaya/panas yang harus ditambahkan saat akan meningkatkan *output* unit pembangkit tersebut. *Incremental rate* sebenarnya menyatakan gradient/kemiringan kurva *input-output*. *Incremental rate* biasa dinyatakan dengan simbol  $\Delta H/\Delta P$  – atau lebih dikenal dengan sebutan IHR (*incremental heat rate*) – memiliki satuan Btu/kWh. Contoh kurva karakteristik *incremental rate* dapat dilihat pada gambar 2.4



**Gambar 2.4** Karakteristik *incremental rate*[1]

Bentuk pemodelan yang digunakan dalam memodelkan karakteristik-karakteristik pembangkit yang digunakan ada 2 jenis, yaitu polynomial dan piecewise incremental heat.

Fungsi polinomial adalah pendekatan dari kurva *input-output* dengan fungsi polinomial. Fungsi polinomial yang umum digunakan adalah kurva polinomial orde dua. Namun meski begitu tidak menutup kemungkinan bila nantinya ada pendekatan dengan fungsi polinomial dengan orde lebih dari dua.

Sebagai contoh dari gambar 2.4 kita dapat membuat pendekatan fungsi polinomial orde dua seperti pada persamaan 2.1

$$H(P) = aP^2 + bP + c \quad (2.1)$$

Sedangkan fungsi *incremental rate* nya bisa kita dapatkan dari turunan pertama fungsi *input-output*.

$$ihr(P) = \frac{\delta H(P)}{\delta P} = 2aP + b \quad (2.2)$$

## 2.2 *Dynamic Economic Dispatch (DED)*

*Economic Dispatch* (ED) merupakan penentuan jumlah daya dari setiap generator yang ada pada sistem yang harus dibangkitkan untuk menghasilkan biaya pembangkitan terkecil untuk memenuhi beban daya tertentu[3]. Dengan penerapan *Economic Dispatch* maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan. Besar beban pada suatu sistem tenaga berubah-ubah pada suatu beban tertentu, sehingga perhitungan pembebanan pembangkit secara optimal pada beban dan waktu yang berubah-ubah disebut *Dynamic Economic Dispatch* (DED). DED merupakan ED yang diperhitungkan setiap perubahan beban setiap waktunya[4].

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* (ED), metode yang paling dasar adalah metode *Lagrange* dengan Iterasi Lambda dengan lambda sebagai nilai *incremental cost* (biaya tambahan) dari pembangkitan tenaga listrik tersebut. Metode-metode lain yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* ini antara lain metode *gamma search*, *quadratic programming*, *Particle Swarm Organization*, *artificial bee colony* dll.

### 2.2.1 *Perhitungan Dynamic Economic Dispatch*

Perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* pada dasarnya sama dengan perhitungan *Economic Dispatch*, hanya saja pada *Dynamic Dispatch* dilakukan perhitungan berdasarkan perubahan waktu sedangkan *Economic Dispatch* hanya dilakukan perhitungan berdasarkan 1 waktu saja. Oleh karena itu, perhitungan disini akan dibahas perhitungan mengenai *Economic Dispatch* karena perhitungannya sama dengan perhitungan *Dynamic Economic Dispatch*.

Tujuan utama dari perhitungan *Economic Dispatch* adalah untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dari pembangkit pada keseluruhan sistem dengan menentukan daya *output* setiap pembangkit. Penentuan

daya *output* pada setiap generator hanya boleh bervariasi pada batasan (*constrain*) tertentu.

Permasalahan ED merupakan permasalahan pengoptimalan yang rumit. Proses pengoptimalannya dengan mengoptimasikan biaya bahan baku pembangkitan (*fuel cost*) – yang memiliki karakteristik tidak linear – agar minimum. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bentuk tipikal dari persamaan biaya pembangkit direpresentasikan dengan fungsi orde dua seperti pada Persamaan (2.1). Salah satu bagian yang paling penting dalam biaya operasional adalah biaya bahan bakar (*fuelcost*). Pada setiap unit pembangkitan nilai yang berbeda tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan dalam pembangkitan. Nilai dari *fuelcost* sangat mempengaruhi fungsi biaya yang didapat. Secara umum nilai dari *fuelcost* dapat dinyatakan dalam persamaan (2.3) berikut.

$$fuelcost = \frac{R}{Mbtu} \quad (2.3)$$

*Fuelcost* merupakan harga persatuan panas dari bahan bakar, atau dapat dinyatakan sebagai konversi satuan panas ke satuan mata uang. Pengaruh nilai *fuelcost* terhadap fungsi biaya dalam dilihat dalam persamaan objektif ED berikut

$$H(P_i) = \gamma_i P_i^2 + \beta_i P_i + \alpha_i \quad (2.4)$$

$$F_i(P_i) = H(P_i) \times fuelcost \quad (2.5)$$

$$F_{total} = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (2.6)$$

Dimana

$n$  : jumlah generator

$F_i$  : Biaya pembangkitan pada pembangkit ke- $i$

$F_{total}$  : Biaya total pembangkitan

Kombinasi daya *output* yang dibangkitkan oleh tiap-tiap generator pada sistem harus memenuhi kebutuhan daya dari sistem tenaga listrik dan memenuhi batas minimum serta maksimum dari daya yang dapat dibangkitkan oleh generator. Karena permasalahannya rumit, maka permasalahan ED hanya bisa dilakukan dengan metode iterasi.

Besarnya daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit akan mempengaruhi besarnya rugi transmisi. Rugi-rugi transmisi

memperngaruhi nilai perhitungan *Economic Dispatch*. Pada tugas akhir ini rugi-rugi transmisi akan diperhitungkan sehingga perhitungan *Economic Dispatch* akan semakin optimal.

Salah satu penyelesaian persamaan *Economic Dispatch* adalah dengan cara pendekatan konvensional menggunakan persamaan *Lagrange (Lagrange multiplier)*

$$\mathcal{L} = F_t + \lambda(P_D + P_{loss} - \sum P_i) \quad (2.7)$$

Dimana  $F_t$  adalah total biaya produksi dari seluruh unit pembangkit yang ada. Nilai minimum dari persamaan (2.7) akan didapatkan saat turunan parsial terhadap daya yang dibangkitkan sama dengan nol.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = 0 \quad (2.9)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.8) dengan persamaan (2.7) maka didapatkan persamaan:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial F_t}{\partial P_i} + \lambda(0 + \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} - 1) \\ \lambda &= \frac{\partial F_t}{\partial P_i} + \lambda \frac{dP_{loss}}{dP_i} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.9) dengan persamaan (2.7) maka didapatkan persamaan:

$$\sum_{i=1}^{ng} P_i = P_D + P_{losses} \quad (2.11)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan *Equality Constrain*. *Equality Constrain* merupakan batasan yang merepresentasikan keseimbangan daya dalam sistem yaitu dimana jumlah daya pembangkitan sama dengan jumlah daya beban ditambah dengan besarnya daya *losses*.

*Inequality Constrain* merupakan batasan yang merepresentasikan kapasitas daya dari pembangkit[5]. Pada ED fungsi pertidaksamaan dinyatakan dalam persamaan (2.12) berikut.

$$P_i \min \leq P_i \leq P_i \max \quad (2.12)$$

Jika batasan *minimum* memiliki nilai seperti yang didapatkan pada persamaan (2.13) maka akan didapatkan solusi (2.14).

$$P_i \leq P_i \min \quad (2.13)$$

$$P_i = P_i \min \quad (2.14)$$

Jika batasan *maximum* memiliki nilai seperti yang didapatkan pada persamaan (2.15) maka akan didapatkan solusi (2.16).

$$P_i \geq P_i \max \quad (2.15)$$

$$P_i = P_i \max \quad (2.16)$$

### 2.2.2 Perhitungan daya rugi-rugi transmisi (Ploss)

Perhitungan pada *Economic Dispatch* dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Perhitungan *Economic Dispatch* dengan tidak mempertimbangkan *losses*
2. Perhitungan *Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan *losses*

Perhitungan *Economic Dispatch* dengan tidak menghitung *losses* tidak dibahas pada tugas akhir ini. Perhitungan *Economic Dispatch* dengan menghitung rugi-rugi transmisi lebih optimal karena memperhitungkan daya total sebenarnya yang harus dibangkitkan oleh pembangkit dikarenakan adanya rugi-rugi, sehingga rincian biaya pembangkitannya semakin optimal.

Daya rugi-rugi (Ploss) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[6]:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{ng} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (2.13)$$

Dimana:

P<sub>gg</sub>= Daya yang dibangkitkan oleh pembangkit

B<sub>ij</sub>, B<sub>0i</sub>, dan B<sub>00</sub>= matriks *Bloss*

### 2.2.3 Matriks Bloss

Matriks *Bloss* merupakan matriks yang digunakan untuk menghitung daya rugi-rugi transmisi (Ploss). Matriks *Bloss* dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Matriks B<sub>ij</sub>. Matriks ini berukuran N x N bergantung dari jumlah N pembangkit. Contoh apabila ada 3 pembangkit maka matriks B<sub>ij</sub> akan berukuran 3 x 3.

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

2. Matriks  $B_{0i}$ . Matriks ini akan berukuran  $1 \times N$  tergantung dari jumlah  $N$  pembangkit. Apabila ada 3 pembangkit maka matriks  $B_{0i}$  akan berukuran  $3 \times 1$ .

$$B_{0i} = \begin{bmatrix} B_{01} \\ B_{02} \\ B_{03} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

3.  $B_{00}$ .  $B_{00}$  bukan suatu matriks merupakan suatu nilai tersendiri yang termasuk ke dalam bentuk matriks *Bloss*.

$$B_{00} = a$$

Ketiga matriks *Bloss* diatas didapatkandari analisis aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik yang didalamnya terdapat data-data pembangkit, data saluran dan data beban. Analisis aliran daya tersebut yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan analisis Newton Raphson.

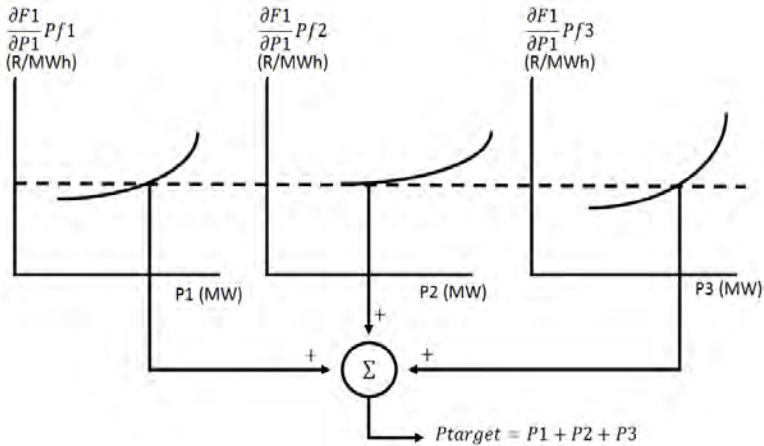
### 2.3 Metode Lagrange

Metode *Lagrange* adalah metode yang umum digunakan untuk menyelesaikan persamaan ED/DED. Metode ini menghitung biaya minimal pembangkit berdasarkan nilai lambda dari persamaan ED per setiap waktu. Jadi, ketika terjadi perubahan waktu dan perubahan beban, maka metode ini akan menghitung kembali nilai lambda tersebut dan menghitung kembali biaya minimum yang akan dikeluarkan.

Pada metode *Lagrange* terdapat nilai lambda seperti pada persamaan (2.7). Metode yang digunakan untuk menghitung nilai lambda yang digunakan pada Tugas Akhir ini untuk menyelesaikan persamaan *Dynamic Economic Dispatch* adalah metode iterasi lambda. Konsep dari iterasi lambda adalah dengan mengamati karakteristik *incremental heat rate* (ihr) dari setiap unit pembangkit. Gambar 2.5 menunjukkan bagaimana konsep iterasi lambda bekerja. Lambda yang dimaksud pada bahasan ini adalah nilai dari *incremental heat rate*.

$$\lambda = 2a P + b \quad (2.16)$$

Kemudian berdasarkan kurva karakteristiknya dapat diketahui nilai daya terbangkit yang dihasilkan untuk setiap nilai lambda. Nilai lambda ini di iterasi hingga menghasilkan nilai daya terbangkit yang memenuhi total daya beban.



**Gambar 2.5** Konsep iterasi lambda[1]

Pada metode iterasi lambda, nilai lambda pertama akan ditentukan terlebih dahulu. Tentunya nilai dari lambda pertama bukanlah hasil yang benar. Ketika nilai total dari  $P1 + P2 + P3 + \dots Pi < P_{target}$  maka nilai  $\lambda$  untuk iterasi berikutnya akan bertambah lebih besar dari nilai  $\lambda$  sebelumnya. Dan sebaliknya, jika nilai total  $P1 + P2 + P3 + \dots Pi > P_{target}$  maka nilai lambda untuk iterasi berikutnya akan lebih kecil daripada nilai dari lambda sebelumnya. Proses ini akan melakukan iterasi nilai lambda hingga mendapatkan hasil dimana  $P1 + P2 + P3 + \dots Pi = P_{target}$ .

## 2.4 Delphi

Pada awalnya Delphi adalah proyek rahasia di Borland yang berevolusi menjadi sebuah produk yang disebut *AppBuilder*. Seiring perkembangan, proyek ini mendapatkan popularitas di kalangan tim *developer* dan kelompok *beta-testing* dan akan diberi nama "Borland



Kelebihan Delphi yang pertama adalah kemudahan penyusunan *user interface*. Sejak awal dirilis, Delphi berkomitmen untuk menjadi *Rapid Application Development* (RAD) *Tool*. Maksudnya adalah bagaimana menjadi pernakat yang mempercepat pengembangan aplikasi. Untuk RAD ini, Delphi telah melakukannya dengan sangat baik, dimulai dari kemudahan penyusunan tampilan program.

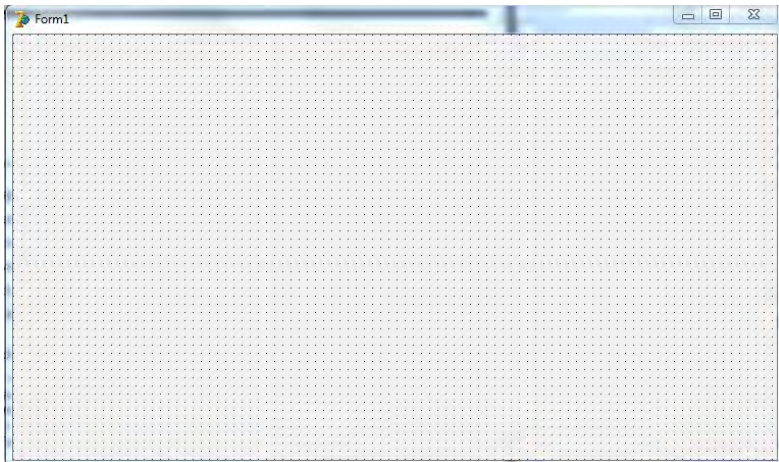
Salah satu kelebihan bahasa Pascal adalah mudah untuk dipelajari. Sejak awal dibuat, bahasa ini sudah digunakan untuk pengajaran bahasa pemrograman di banyak perguruan tinggi di seluruh dunia. *Object Pascal* pada Delphi adalah salah satu versi Pascal yang sangat *powerful*, tetapi tidak menjadikannya terlalu kompleks.

[illegible]

IDE menyediakan *tools* yang akan kita butuhkan untuk memulai mendesai sebuah aplikasi. *Tools* tersebut antara lain :

- *Integrated Debugger* untuk menjadi dan membenarkan error dalam kode-kode kita.
- *Command-line tools* seperti *compiler*, *linker*, dan yang lainnya.
- *Library* yang luas dengan objek-objek yang dapat digunakan kembali

*Form Designer* merupakan tempat membuat antarmuka dengan cepat. Antarmuka yang dimaksud disini adalah tampilan yang akan dijumpai oleh pengguna program yang akan dibuat[7].



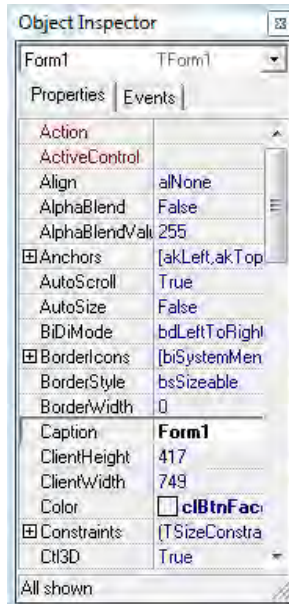
**Gambar 2.7** Tampilan *Form Designer*

*Tool Palette* digunakan untuk memilih komponen yang akan digunakan di formulir[7].



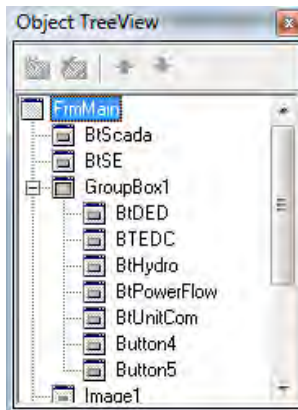
**Gambar 2.8** Tampilan *Tool Palette*

*Object Inspector* digunakan untuk *properties* serta *event* yang melekat pada sebuah *Object* [7]. *Panel*-nya sebagai berikut:



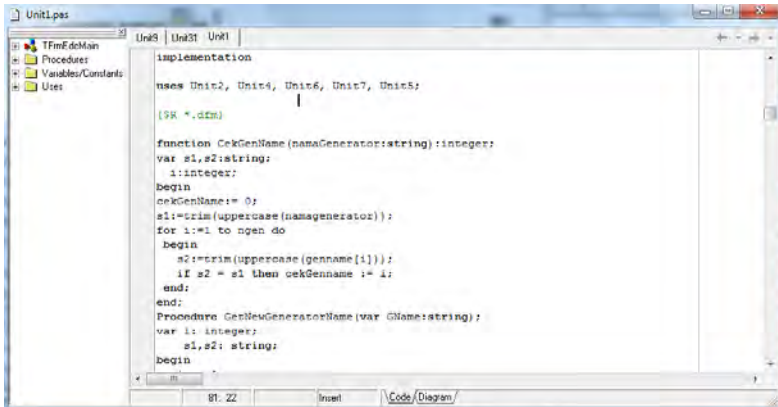
**Gambar 2.9** Tampilan *Object Inspector*

*Object Tree View* digunakan untuk memunculkan dan mengubah-ubah hubungan antar komponen[7].



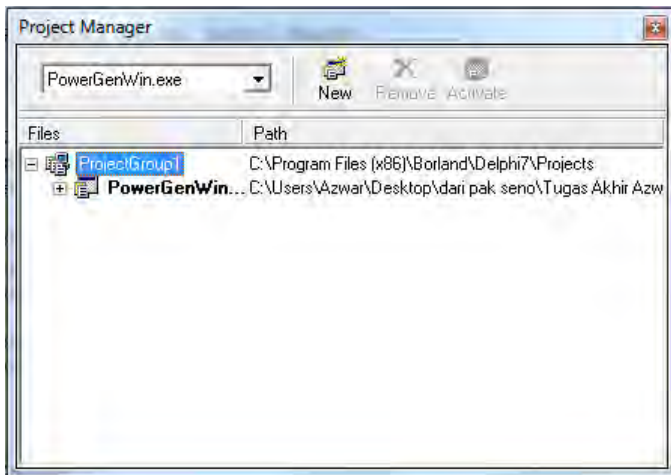
**Gambar 2.10** Tampilan *Object Treeview*

*Code Editor* digunakan untuk menulis kode-kode logika program[7].



**Gambar 2.11** Tampilan *Code Editor*

*Project Manager* digunakan untuk mengatur *file-file* dan menjadikannya dalam satu proyek[7].



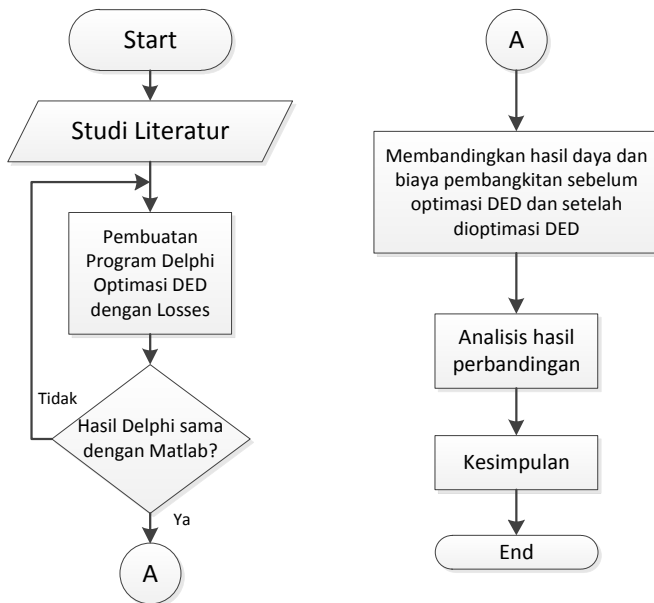
**Gambar 2.12** Tampilan *Project Manager*

## BAB 3

### RANCANGAN PERHITUNGAN OPTIMASI *DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH* (DED) DENGAN MEMPERHITUNGKAN RUGI-RUGI DAYA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* yang optimal untuk memenuhi kebutuhan daya beban dengan mempertimbangkan rugi-rugi daya. Dalam tugas akhir ini menggunakan iterasi lambda untuk menyelesaikan permasalahan dalam perhitungan *Economic Dispatch*(ED) yang kemudian akan diterapkan pada perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* berdasarkan perubahan beban dan waktu.

#### 3.1 Algoritma Pembuatan Tugas Akhir



**Gambar 3.1** Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

Alur Tugas Akhir ini dimulai dengan melakukan studi literatur perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* (DED) yang optimal dengan memperhitungkan rugi-rugi transmisi terlebih dahulu dari analisis daya menggunakan metode newton raphson. Rugi-rugi ini kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* secara optimal. Studi literatur dengan melihat contoh kasus dan program MATLAB yang ada pada referensi [8].

Setelah melakukan studi literature tersebut, maka dibuat program berbahasa Delphi pada *software Powergen* dengan program MATLAB sebagai acuan kebenaran program Delphi. Seiring dengan pembuatan program Delphi tersebut, maka dilakukan pengecekan hasil dengan MATLAB.

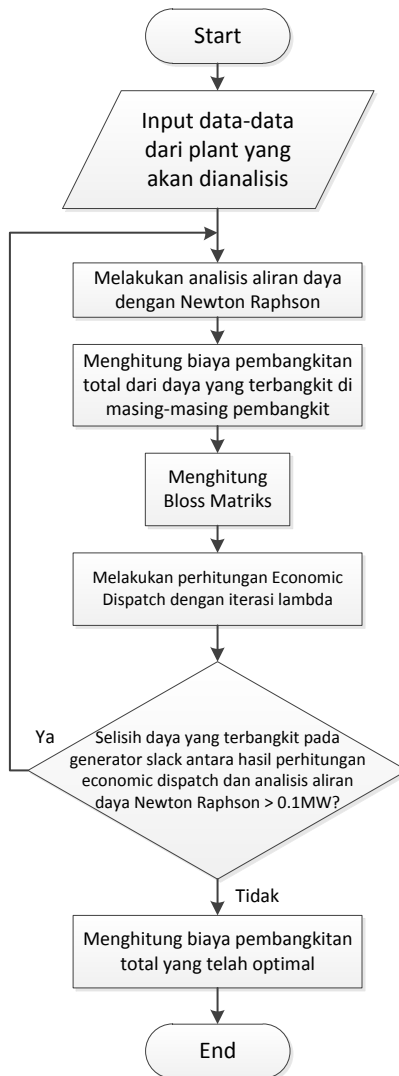
*Output* yang dihasilkan dari analisis ini adalah daya dan biaya pembangkitan yang dihasilkan oleh pembangkit untuk memenuhi daya beban setelah dilakukan optimasi perhitungan DED dengan menghitung daya rugi-rugi yang dihasilkan oleh analisis aliran daya Newton Raphson.

Pada analisis aliran daya Newton Raphson tersebut juga terdapat hasil daya *output* tiap-tiap pembangkit, tetapi belum optimal dan biaya pembangkitan yang mahal akibat komposisi daya masing-masing pembangkit yang tidak optimal. Oleh karena itu diperlukan optimasi perhitungan DED dengan memperhitungkan rugi-rugi daya untuk mendapatkan daya dan biaya pembangkitan yang optimal dan murah.

Perbedaan daya dan biaya pembangkitan antar hasil analisis aliran daya Newton Raphson dengan analisis optimasi DED kemudian dianalisis untuk ditarik sebuah kesimpulan akhir dari tugas akhir ini.

### **3.2 Integrasi Perhitungan Rugi-Rugi Daya Transmisi pada Perhitungan DED dengan menggunakan Metode *Lagrange***

Rancangan dari tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan hasil biaya pembangkitan yang murah dan optimal dari suatu kasus sistem tenaga dengan memperhitungkan rugi-rugi daya transmisi yang ada pada sistem tersebut. Untuk mendapatkan hasil biaya pembangkitan yang optimal dan murah tersebut, alir tahapannya dapat dilihat pada gambar 3.2



**Gambar 3.2** Alur Rancangan Perhitungan Optimasi DED dengan memperhitungkan *Losses*

Pada tugas akhir ini ada 2 contoh kasus plant yang akan dihitung DED yang optimal. Kasus pertama adalah plant 5 bus dengan 3 pembangkit dan kasus kedua adalah plant dengan 26 bus dan 6 pembangkit. Data-data dari masing-masing plant tersebut di-*input* yaitu data-data bus, *linedata*, *cost* dari masing-masing pembangkit dan limit daya dari masing-masing pembangkit.

Setelah dianalisis, maka dari hasil analisis tersebut dapat dilihat daya yang dibangkitkan oleh masing-masing pembangkit dan kemudian dihitung biaya pembangkitan dari daya hasil analisis aliran daya.

Kemudian dari analisis aliran daya tersebut dicari rugi-rugi daya transmisi dan matriks *Bloss* nya, untuk menghitung ED. Setelah *Bloss* ditemukan, maka dapat dilakukan perhitungan ED. Hasil dari ED akan menghasilkan daya yang terbangkit dari masing-masing pembangkit dan total biaya yang dihasilkan.

Dari daya yang dihasilkan pembangkit berdasarkan perhitungan ED, yang perlu menjadi perhatian adalah daya yang terbangkit pada generator slack. Apabila daya yang terbangkit pada generator slack berdasarkan perhitungan ED berbeda 0,1 MW lebih besar dari hasil perhitungan analisis aliran daya, maka perlu dilakukan perhitungan (iterasi) kembali ke analisis aliran daya lagi sampai analisa ED. Kemudian diperiksa lagi apakah selisihnya masih lebih besar dari 0,1 MW atau sudah dibawah 0,1MW. Apabila sudah dibawah 0,1MW maka hasil ED tersebut sudah optimal. Kemudian dihitung biaya total dari masing-masing daya yang terbangkit di setiap pembangkit. Hasil tersebut sudah merupakan hasil perhitungan ED yang optimal.

### 3.2.1 Perhitungan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan metode Newton Raphson

Salah satu langkah penting dalam pengoptimalan dispatch pada pembangkitan adalah dengan memperhitungkan *losses* sistem. Ada beberapa metode untuk mencari rugi-rugi daya. Salah satunya diciptakan oleh Kron dan diadopsi Krichmayer adalah *loss coefficient* atau metode *B-coefficient* [8].

Total rugi-rugi daya dari suatu sistem dapat dihitung dengan

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n V_i I_i^* = V_{bus}^T I_{bus}^* \quad (3. 1)$$

dimana  $P_L$  dan  $Q_L$  merupakan rugi daya real dan reactive sistem.

$$V_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (3. 2)$$



Persamaan (3.2) dimasukkan ke dalam persamaan (3.1) sehingga

$$\begin{aligned} P_L + jQ_L &= [Z_{bus} I_{bus}]^T I_{bus}^* \\ &= I_{bus}^T Z_{bus} I_{bus}^* \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_i Z_{ij} I_j^* \end{aligned} \quad (3.3)$$

Rugi-rugi daya diatas dapat dipecah menjadi bagian real dan imajiner, sehingga persamaan diatas menjadi

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_i R_{ij} I_j^*$$

Dalam bentuk matriks

$$P_L = I_{bus}^T R_{bus} I_{bus}^* \quad (3.4)$$

dimana  $R_{ij}$  merupakan elemen real dari matriks impedansi bus. Untuk mencari total arus beban pada sistem tersebut

$$I_{L1} + I_{L2} + \dots + I_{Lnd} = I_D \quad (3.5)$$

dimana  $n_d$  merupakan jumlah bus beban dan  $I_D$  merupakan total arus beban. Apabila diasumsikan arus beban individual memiliki pembagian yang sama, sehingga

$$I_{Lk} = \ell_k I_D \quad k = 1, 2, \dots, nd \quad (3.6)$$

Atau

$$\ell_k = \frac{I_{Lk}}{I_D} \quad (3.7)$$

Asumsi bahwa bus 1 merupakan *slack bus*, berdasarkan persamaan (3.2) menghasilkan

$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 + \dots + Z_{1n} I_n \quad (3.8)$$

Jika  $ng$  merupakan jumlah bus pembangkit dan  $nd$  jumlah bus beban, persamaan diatas dapat diubah menjadi

$$V_1 = \sum_{i=1}^{ng} Z_{1i} I_{gi} + \sum_{k=1}^{nd} Z_{1k} I_{Lk} \quad (3.9)$$

substitusi  $I_{Lk}$  kedalam persamaan (3.6) dan (3.8)

$$V_1 = \sum_{i=1}^{ng} Z_{1i} I_{gi} + I_D \sum_{k=1}^{nd} Z_{1k} \ell_k$$

$$= \sum_{i=1}^{ng} Z_{1i} I_{gi} + I_D T \quad (3.10)$$

dimana

$$T = \sum_{k=1}^{nd} \ell_k Z_{1k} \quad (3.11)$$

Jika  $I_0$  di defenisikan sebagai arus yang keluar dari bus 1, dan mengganggu semua arus beban sama dengan nol, maka

$$V_1 = -Z_{11} I_0 \quad (3.12)$$

substitusi  $V_1$  ke dalam persamaan (7.88), arus beban menjadi

$$I_{Lk} = -\frac{\ell_k}{T} \sum_{i=1}^{ng} Z_{1i} I_{gi} - \frac{\ell_k}{T} Z_{11} I_0 \quad (3.13)$$

bila

$$\rho = -\frac{\ell_k}{T} \quad (3.14)$$

maka

$$I_{Lk} = \rho_k \sum_{i=1}^{ng} Z_{1i} I_{gi} + \rho_k Z_{11} I_0 \quad (3.15)$$

Apabila persamaan diatas diubah dalam bentuk matriks akan menjadi

$$\begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gng} \\ I_{L1} \\ I_{L2} \\ \vdots \\ I_{Lnd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ \rho_1 Z_{11} & \rho_1 Z_{12} & \cdots & \rho_1 Z_{1ng} & \rho_1 Z_{11} \\ \rho_2 Z_{11} & \rho_2 Z_{12} & \cdots & \rho_2 Z_{1ng} & \rho_2 Z_{11} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \rho_k Z_{11} & \rho_k Z_{12} & \cdots & \rho_k Z_{1ng} & \rho_k Z_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gng} \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

matriks diatas disingkat menjadi C, sehingga

$$I_{bus} = C I_{new} \quad (3.17)$$

substitusi persamaan diatas ke persamaan (3.4)

$$\begin{aligned} P_L &= [C I_{new}]^T R_{bus} C^* I_{new}^* \\ P_L &= I_{new}^T C^T R_{bus} C^* I_{new}^* \end{aligned} \quad (3.18)$$

Jika  $S_{gi}$  adalah daya complex bus I, maka arus pembangkitannya adalah

$$\begin{aligned}
I_{gi} &= \frac{S_{gi}^*}{V_i} = \frac{P_{gi} - jQ_{gi}}{V_i^*} \\
&= \frac{1 - j \frac{Q_{gi}}{P_{gi}}}{V_i^*} P_{gi} \\
&= \psi_i P_{gi}
\end{aligned}$$

$$I_{new} = \psi P_{G1} \quad (3.19)$$

substitusi persamaan diatas ke persamaan (3.18)

$$\begin{aligned}
P_L &= [\psi P_{G1}]^T C^T R_{bus} C^* \psi^* P_{G1}^* \\
&= P_{G1}^T \psi^T C^T R_{bus} C^* \psi^* P_{G1}^* \\
&= P_{G1}^T \Re[H] P_{G1}^* \quad (3.20)
\end{aligned}$$

dimana

$$\Re[H] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1ng} & B_{01}/2 \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2ng} & B_{02}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{ng1} & B_{ng2} & \cdots & B_{ngng} & B_{0ng}/2 \\ B_{01}/2 & B_{02}/2 & \cdots & B_{0ng}/2 & B_{00} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

sehingga

$$\begin{aligned}
P_L &= [P_{g1} \ P_{g2} \ \cdots \ P_{gng}] \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1ng} \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2ng} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{ng1} & B_{ng2} & \cdots & B_{ngng} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \vdots \\ P_{gng} \end{bmatrix} \\
&= [P_{g1} \ P_{g2} \ \cdots \ P_{gng}] \begin{bmatrix} B_{01} \\ B_{02} \\ \cdots \\ B_{0ng} \end{bmatrix} + B_{00} \quad (3.22)
\end{aligned}$$

### 3.2.2 Perhitungan Economic Dispatch dengan memperhitungkan rugi-rugi transmisi menggunakan metode iterasi lambda

Ketika sudah mendapatkan matriks  $B_{loss}$  dari hasil analisis aliran daya, maka matriks tersebut akan digunakan untuk menyelesaikan perhitungan ED dari sistem tenaga listrik tersebut. Persamaan Ploss dapat dicari berdasarkan persamaan

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{ng} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (3.23)$$

Persamaan diatas didiferensialkan sehingga menghasilkan persamaan berikut:

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} = 2 \sum_{j=1}^{ng} B_{ij} P_j + B_{0i} \quad (3.24)$$

Persamaan (3.24) dimasukkan kedalam persamaan (2.10), sehingga menjadi:

$$\beta_i + 2\gamma_i P_i + 2\lambda \sum_{j=1}^{ng} B_{ij} P_j + B_{0i} \lambda = \lambda$$

atau dapat diubah menjadi

$$\left(\frac{\gamma_i}{\lambda} + B_{ii}\right) P_i + \sum_{j=1}^{ng} B_{ij} P_j = \frac{1}{2} (1 - B_{0i} - \frac{\beta_i}{\lambda}) \quad (3.25)$$

Persamaan diatas dapat dibuat dalam bentuk matriks menjadi

$$\begin{bmatrix} \frac{\gamma_1}{\lambda} + B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1ng} \\ B_{21} & \frac{\gamma_2}{\lambda} + B_{22} & \cdots & B_{2ng} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{ng1} & B_{ng2} & \cdots & \frac{\gamma_{ng}}{\lambda} + B_{ngng} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{ng} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - B_{01} - \frac{\beta_1}{\lambda} \\ 1 - B_{02} - \frac{\beta_2}{\lambda} \\ \vdots \\ 1 - B_{0ng} - \frac{\beta_{ng}}{\lambda} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

atau dalam bentuk pendeknya, dapat disingkat dengan:

$$EP=D$$

atau

$$P= E/D \quad (3.27)$$

Sehingga bila sudah mendapatkan matriks  $B_{loss}$  dan mempunyai karakteristik pembangkit, maka dapat mengetahui nilai  $P$ , yang merupakan estimasi daya pembangkitan awal.

Pada perhitungan  $E$  dan  $D$  terdapat nilai  $\lambda$  yang harus diketahui. Pada metode iterasi  $\lambda$ ,  $\lambda$  awal harus ditetapkan terlebih dahulu, pada tugas akhir ini cara untuk menentukan harga awal  $\lambda$  adalah dengan mengambil nilai  $\beta$  pembangkit yang terbesar. Nilai tersebut menjadi nilai awal  $\lambda$  pada iterasi  $\lambda$  untuk menyelesaikan persamaan  $ED$  tugas akhir ini[8].

Setelah mendapatkan nilai P, maka total rugi-rugi daya pada persamaan (3.23) dapat dihitung. Selanjutnya dapat menghitung nilai dari  $\Delta P$  dengan menggunakan rumus:

$$\Delta P^{(k)} = P_D + P_L^{(k)} - \sum_{i=1}^{ng} P_i^{(k)} \quad (3.28)$$

dimana:

$P_D$  = Daya beban

$P_L^{(k)}$  = Daya *Losses* iterasi ke-k

$\sum_{i=1}^{ng} P_i^{(k)}$  = Jumlah nilai P iterasi ke-k

Kemudian proses perhitungan ED ini berlanjut, dengan menggunakan persamaan (3.25), maka dapat ditampilkan seperti persamaan berikut:

$$P_i^{(k)} = \frac{\lambda^{(k)}(1-B_{0i})-\beta_i-2\lambda^{(k)}\sum_{j \neq i} B_{ij}P_j^{(k)}}{2(\gamma_i+\lambda^{(k)}B_{ii})} \quad (3.29)$$

Bila persamaan diatas didifferensialkan terhadap  $\lambda$  sehingga menghasilkan persamaan sumgrad yaitu:

$$\sum_{i=1}^{ng} \left( \frac{\partial P_i}{\partial \lambda} \right)^{(k)} = \sum_{i=1}^{ng} \frac{\gamma_i(1-B_{0i})+B_{ii}\beta_i-2\gamma_i\sum_{j \neq i} B_{ij}P_j^{(k)}}{2(\gamma_i+\lambda^{(k)}B_{ii})^2} \quad (3.30)$$

sehingga dapat dihitung nilai delambda, yaitu

$$\Delta \lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \left( \frac{\partial P_i}{\partial \lambda} \right)^{(k)}} \quad (3.31)$$

Setelah didapatkan nilai delambda, maka didapatkan nilai lambda yang baru dengan menggunakan rumus

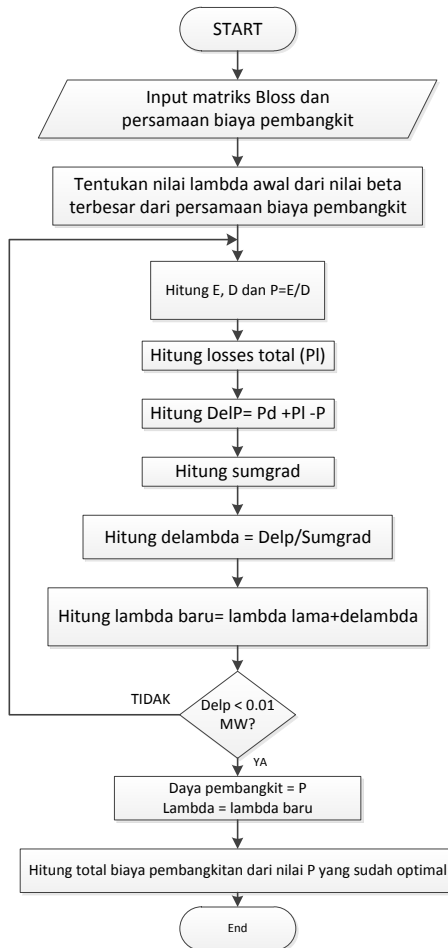
$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta \lambda^{(k)} \quad (3.32)$$

dimana:  $\lambda^{(k)}$  = nilai lambda iterasi ke-k

$\Delta \lambda^{(k)}$  = nilai delambda iterasi ke-k

$\lambda^{(k+1)}$  = nilai lambda iterasi ke-k+1 atau nilai lambda yang baru

Berdasarkan persamaan berikut, maka didapatkan nilai lambda yang baru. Proses ini akan berulang lagi ke persamaan (3.25) dan persamaan (3.26) hingga ke persamaan (3.32) hingga mendapatkan nilai lambda yang baru lagi. Proses ini akan berulang terus menerus (iterasi) hingga nilai dari  $\Delta P^{(k)} < 0.01 \text{ MW}$ .

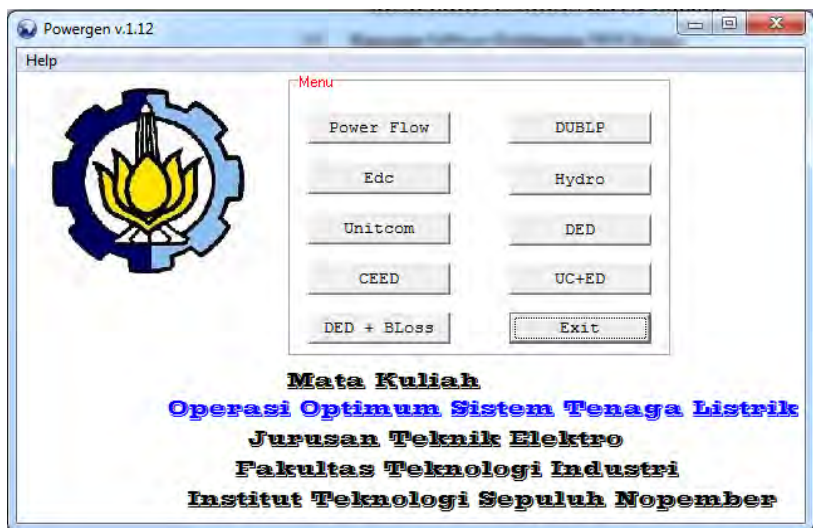


**Gambar 3.3** Alur Perhitungan metode iterasi lambda dengan memperhitungkan daya rugi-rugi.

Alur perhitungan yang ditunjukkan oleh gambar (3.3) akan menghasilkan daya pembangkit dan biaya pembangkitan. Namun, hasil ini belum optimal apabila daya pembangkit slack pada sistem tersebut yang dihasilkan oleh perhitungan ED diatas masih lebih besar dari 0,1 MW dari hasil perhitungan analisis aliran daya Newton Raphson. Apabila selisihnya sudah lebih kecil dari 0,1 MW maka hasil perhitungan ED tersebut sudah optimal.

### 3.3 Rancangan Software Perhitungan DED Dengan Memperhitungkan Losses

*Software* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *software Powergen*. *Powergen* merupakan *software* milik Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang biasa digunakan untuk melakukan perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan Teknik Sistem Tenaga. *Software* ini telah digunakan sebagai salah satu alat bantu dalam akademik perkuliahan. *Software* ini digunakan pada salah satu mata kuliah teknik sistem tenaga yaitu mata kuliah operasi optimum untuk melakukan perhitungan *Economic* maupun *Dynamic Economic Dispatch*. Tampilan menu utama dari *Powergen* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Tampilan menu utama *Powergen*

*Powergen* memiliki beberapa fungsi perhitungan seperti yang terlihat pada menu awal tampilannya, yaitu:

- Power Flow : Untuk melakukan analisis aliran daya
- Edc : Untuk melakukan perhitungan Economic Dispatch
- Unitcom : Untuk melakukan perhitungan Unit Commitment
- DUBLP : Melakukan operasi sederhana dengan *linear programming*
- Hydro : Menyelesaikan penjadwalan pembangkit Tenaga air/hydro
- DED : Melakukan perhitungan *Dynamic Economic Dispatch*
- DED+Bloss : Melakukan perhitungan DED dengan Memperhitungkan *losses*

Pada tugas akhir ini, menu yang akan digunakan adalah menu DED+Bloss, yaitu menu yang melakukan analisis aliran daya dan perhitungan DED untuk mendapatkan matriks *Bloss* sehingga mengoptimalkan perhitungan DED.

Menu DED+Bloss ini merupakan gabungan 2 menu utama pada *Powergen*, yaitu menu Power Flow dan menu DED. Menu Power Flow digunakan untuk menghitung analisis aliran daya sehingga menghasilkan matriks *Bloss*. Setelah mendapatkan matriks *Bloss*, maka matriks tersebut diinput ke dalam perhitungan DED dan diolah sehingga mendapatkan biaya pembangkitan yang optimal.

Pada awal pengerjaan tugas akhir ini, *Powergen* tersebut tidak memiliki menu DED+Bloss, hanya memiliki menu Power Flow dan DED. Oleh karena itu, dibuat sebuah program baru yang dapat menggabungkan keduanya sehingga dapat menghasilkan perhitungan DED yang optimal. Sesuai dengan tujuan tugas akhir ini yaitu mengembangkan software *Powergen* yang sudah ada sebelumnya, dengan menambahkan menu pilihan perhitungan analisa aliran daya dan perhitungan DED dengan memperhitungkan rugi-rugi daya transmisi. Diharapka kedepannya agar dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran di Teknik Elektro ITS khususnya pada mata kuliah Operasi Optimum Sistem Tenaga Listrik. Dengan adanya menu pilihan ini, mahasiswa dapat melakukan analisis perhitungan DED dengan mempertimbangkan rugi-rugi daya.



The screenshot shows the 'frmDataDed' application window with four main data entry sections, each with a table and a 'Jumlah' (Count) label on the left.

- Bus Data:** A table with 11 columns: No, Bus No, Bus Code, Voltage Mag, Angle Degree, Load MW, Load Mvar, Gen MW, Gen Mvar, Gen Qmin, Gen I. The 'Jumlah Bus' label is next to a text box containing '5'.
- Line Data:** A table with 7 columns: No, Bus m, Bus n, R p.u, X p.u, 1/2 B p.u, Lines. The 'Jumlah Saluran' label is next to a text box containing '7'.
- Cost:** A table with 4 columns: No, Bus No, Bus Code, Cost. The 'Jumlah Generator' label is next to a text box containing '3'.
- MW Limits:** A table with 4 columns: No, Bus No, Bus Code, MW Limit. The 'Jumlah Generator' label is next to a text box containing '3'.

At the bottom of the window are 'Process' and 'Close' buttons.

**Gambar 3.5** Tampilan menu DED+Bloss

Pada menu diatas, dapat dilihat ada 4 tabel yang harus *diinput* pengguna *software* ini, yaitu tabel Bus Data, Line Data, Cost, dan MW limits. Pengguna mula-mula harus mengisi data-data dari keempat tersebut *diinput* berdasarkan contoh kasus yang ada. Tampilan pengisian data dapat dilihat pada gambar 3.6.

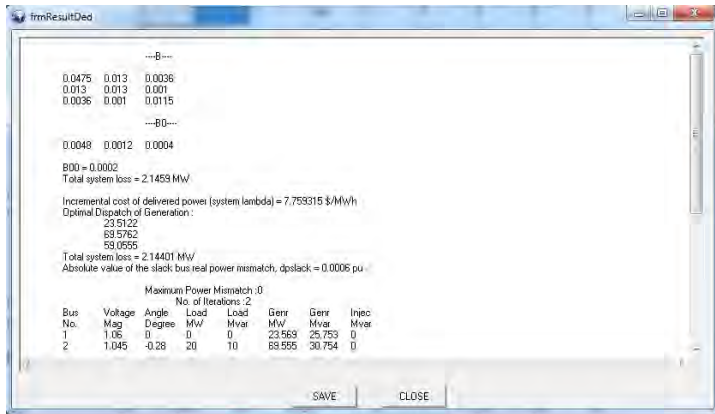
The screenshot shows the 'frmDataDed' application window with the same four data entry sections, now filled with data. The 'Jumlah' labels and their values remain the same as in Gambar 3.5.

- Bus Data:** The table is filled with 5 rows of data. The 'Jumlah Bus' label is next to a text box containing '5'.
- Line Data:** The table is filled with 7 rows of data. The 'Jumlah Saluran' label is next to a text box containing '7'.
- Cost:** The table is filled with 3 rows of data. The 'Jumlah Generator' label is next to a text box containing '3'.
- MW Limits:** The table is filled with 3 rows of data. The 'Jumlah Generator' label is next to a text box containing '3'.

At the bottom of the window are 'Process' and 'Close' buttons.

**Gambar 3.6** Tampilan pengisian data-data DED+Bloss

Setelah data-data yang diperlukan diisi sesuai dengan data-data yang ada, maka selanjutnya menekan tombol Proses. Secara otomatis data akan diproses dan akan menghasilkan tampilan *output* seperti gambar 3.7



**Gambar 3.7** Tampilan Hasil Perhitungan DED+Bloss

Pada tampilan hasil perhitungan diatas, terdapat nilai dari matriks *Bloss*, daya terbangkit yang optimal dari setiap pembangkit dan hasil analisis aliran daya menggunakan metode Newton Raphson. Tombol SAVE akan menyimpan laporan hasil tersebut.

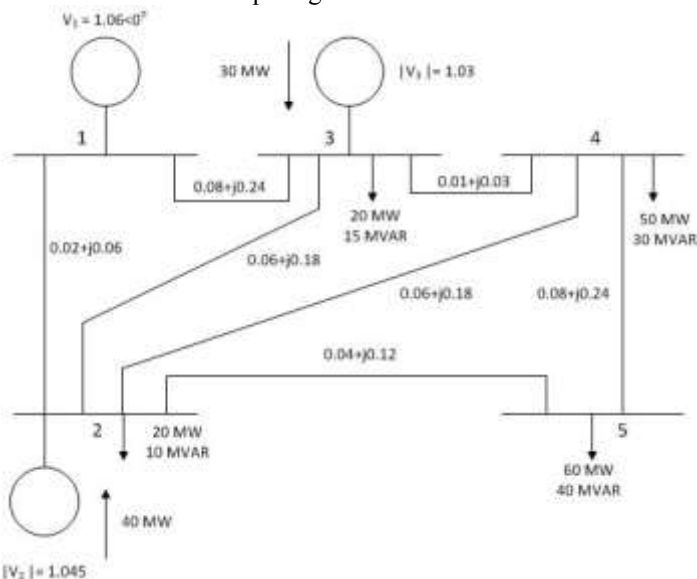
## BAB 4

### HASIL SIMULASI DATA DAN ANALISA

Pada bab ini akan menampilkan hasil simulasi integrasi perhitungan rugi-rugi transmisi pada *Dynamic Economic Dispatch* menggunakan metode *Lagrange*. Analisa yang dilakukan adalah pengaruh biaya pembangkitan dari suatu plant transmisi sistem tenaga listrik berdasarkan hasil analisa aliran daya dan hasil perhitungan DED. Pada Bab 4 ini akan diberikan 2 contoh kasus, yang pertama plant dengan 3 pembangkit 5 bus (skala kecil) dan kasus yang kedua plant dengan 7 pembangkit 26 bus (skala besar). Simulasi dan analisa akan dilakukan berdasarkan hasil perhitungan Delphi dan MATLAB sebagai pembandingan untuk kasus skala kecil dan besar.

#### 4.1 Kasus 3 Pembangkit 5 Bus

Pada kasus 1 ini digunakan data-data dari referensi [8] contoh kasus 7.9 dan kasus 7.10 seperti gambar dibawah ini



**Gambar 4.1** One-Line Diagram 3 pembangkit 5 bus

**Tabel 4.1** Tabel databus 3 pembangkit 5 bus

Dari Bus	Ke Bus	Voltage Mag	Angle Degree	Load		Generation				Injected
				MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	
1	1	1.06	0.0	0	0	0	0	10	50	0
2	2	1.045	0.0	20	10	40	30	10	50	0
3	2	1.03	0.0	20	15	30	10	10	40	0
4	0	1.00	0.0	50	30	0	0	0	0	0
5	0	1.00	0.0	60	40	0	0	0	0	0

**Tabel 4.2** Tabel *Linedata* 3 pembangkit 5 bus

Bus nl	Bus nr	R pu	X pu	½ B pu	Tap setting Value
1	2	0.02	0.06	0.03	1
1	3	0.08	0.24	0.025	1
2	3	0.06	0.18	0.02	1
2	4	0.06	0.18	0.02	1
2	5	0.04	0.12	0.015	1
3	4	0.01	0.03	0.01	1
4	5	0.08	0.24	0.025	1

**Tabel 4.3** Tabel koefisien *cost* pembangkit

$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
200	7.0	0.008
180	6.3	0.009
140	6.8	0.007

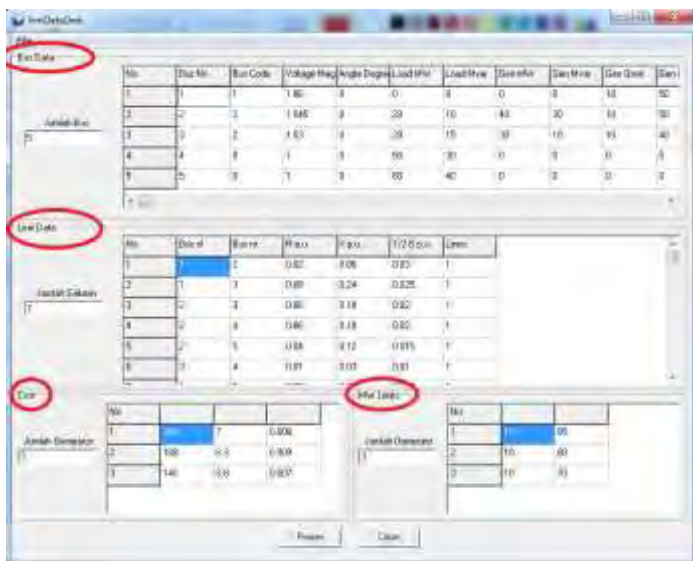
**Tabel 4.4** Tabel batasan daya pembangkit

MW min	MW max
10	85
10	80
10	70

Data-data diatas akan *dirunning* di Delphi, yaitu di *Powergen*, kemudian memilih menu “*DED+Bloss*” lalu mengisi data-data yang sesuai dengan tabel-tabel diatas. Hasilnya nanti akan dibandingkan dengan hasil MATLAB.



Gambar 4.2 Software Powergen yang dikembangkan



Gambar 4.3 Tampilan menu DED+Bloss

Pada tampilan menu DED+*Bloss* tersebut terdapat tabel-tabel yang harus diisi sesuai dengan tabel 4.1 sampai tabel 4.4. Setelah data-data tersebut diisi, kemudian menekan tombol proses sehingga hasilnya akan keluar.

Pada saat yang sama dilakukan proses yang sama pada MATLAB seperti pada referensi [8] Example 7.10 sebagai proses validasi *software* Delphi yang dikembangkan.

**Tabel 4.5** Perbandingan hasil perhitungan DED+*Bloss*

	Delphi	MATLAB
P1	23.5122 MW	23.5581 MW
P2	69.5762 MW	69.5593 MW
P3	59.0555 MW	59.0368 MW
Lambda	7.759315 \$/MWh	7.759051 \$/MWh
Gencost	1596.9 \$/h	1596.96 \$/h

Hasil diatas merupakan hasil perhitunga DED yang telah optimal. Pada hasil diatas dapat dilihat hasil Delphi sudah menyerupai dengan hasil MATLAB, meskipun ada sedikit perbedaan beberapa angka di belakang koma. Hal ini dikarenakan pada *software* Delphi proses perhitungannya tidak bisa detail seperti MATLAB.

**Tabel 4.6** Perbandingan hasil matriks *Bloss* dan Gencost hasil analisa aliran daya

	B			B0			B00	Gencost
Delphi	0.0218	0.0093	0.0028					
	0.0093	0.0228	0.0017	0.0003	0.0031	0.0015	0.0002	1633.24
	0.0028	0.0017	0.0179					
MATLAB	0.0218	0.0093	0.0028					
	0.0093	0.0228	0.0017	0.0003	0.0031	0.0015	0.0003	1633.24
	0.0028	0.0017	0.0179					

Tabel 4.6 menunjukkan hasil matriks *Bloss* dan biaya pembangkitan dari daya yang dibangkitkan pembangkit berdasarkan analisis aliran Newton Raphson, sebelum dilakukan perhitungan DED menggunakan matriks *Bloss* tersebut. Terdapat perbedaan biaya yang lumayan besar bila dibandingkan dengan hasil biaya Tabel 4.5 yaitu sebesar  $1633.24 - 1596.9 = 36.34$  \$/h. Dengan melakukan perhitungan

DED, maka suatu pembangkit bisa menghemat biaya sebesar 36.34 \$ per jamnya.

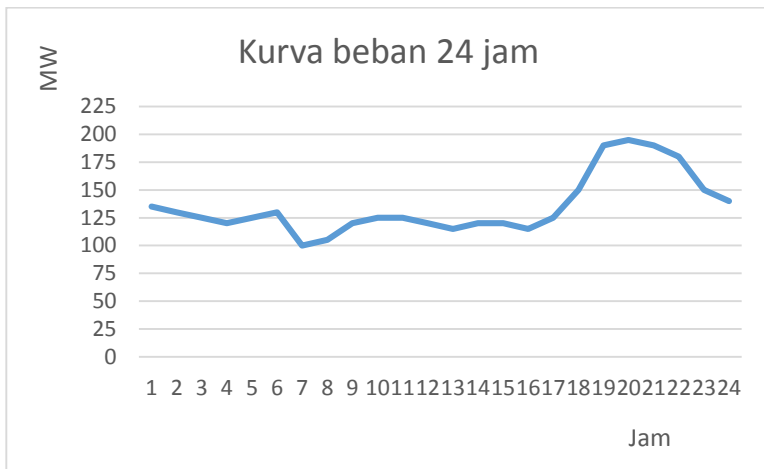
Tabel 4.1 diatas menunjukkan beban total 150 MW. Beban ini menunjukkan beban untuk 1 jam saja. Analisis yang dilakukan diatas dilakukan untuk 1 beban saja yaitu 150 MW. Untuk perhitungan DED, akan dilakukan percobaan 24 periode interval per jam. Untuk kenaikan dan penurunan bebannya mengikuti kurva beban harian jawa-bali berdasarkan bentuk kurva dari P3B pada tanggal 12 Mei 2013 dengan memperhatikan batas minimum dan maksimum yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit yang ada di plant tersebut. Perubahan yang dilakukan hanya daya real beban saja. Kenaikan dan penurunan beban ini ditentukan tanpa menyebabkan adanya penambahan atau pengurangan pembangkit atau terjadinya *Unit Commitment* diantara pembangkit tersebut, karena pada tugas akhir ini tidak membahas tentang *Unit Commitment*.

**Tabel 4.7** Tabel beban plant 5 bus 3 pembangkit periode 24 jam

Jam	Bus 2 (mw)	Bus 3 (mw)	Bus 4 (mw)	Bus 5 (mw)	Total (mw)
01.00	15	15	45	55	130
02.00	14	14	44	53	125
03.00	13	13	43	52	120
04.00	14	14	44	53	125
05.00	15	15	45	55	130
06.00	10	10	35	45	100
07.00	10	10	38	47	105
08.00	13	13	43	52	120
09.00	14	14	44	53	125
10.00	14	14	44	53	125
11.00	13	13	43	52	120
12.00	12	11	41	51	115
13.00	13	13	43	52	120
14.00	13	13	43	52	120
15.00	12	11	41	51	115
16.00	14	14	44	53	125
17.00	20	20	50	60	150
18.00	30	30	60	70	190
19.00	31	31	61	72	195

Jam	Bus 2 (mw)	Bus 3 (mw)	Bus 4 (mw)	Bus 5 (mw)	Total (mw)
20.00	30	30	60	70	190
21.00	27	27	58	68	180
22.00	20	20	50	60	150
23.00	18	18	47	57	140
24.00	17	16	46	56	135

Untuk kenaikan dan penurunan daya beban selama 24 jam, mengikuti kurva beban 24 jam jawa bali dari PJB seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini



**Gambar 4.4** Kurva Beban 24 jam yang akan diproses

Berdasarkan tabel dan kurva diatas dapat dilihat beban yang akan diproses pada plant ini selama 24 jam. Kenaikan dan penurunan beban mengikuti pola kurva beban jawa bali dari data P3B pada tanggal 12 Mei 2013. Kenaikan dan penurunan bebannya dibagi rata di setiap 4 bus yang berbeban.

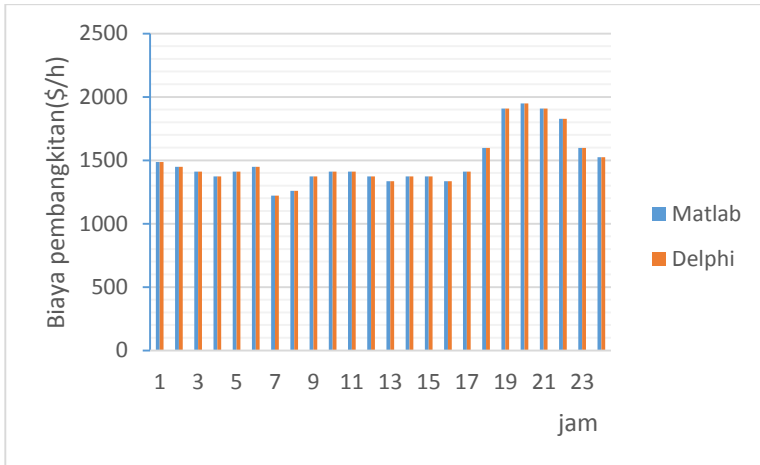
Data-data beban 24 jam tersebut akan *dirunning* di Delphi dan MATLAB sebagai pembanding, dan nanti hasilnya akan dibandingkan berdasarkan dari total biaya pembangkitan.



**Tabel 4.8** Tabel hasil perhitungan DED 24 jam

JAM	Biaya Pembangkitan (\$/h)	
	Delphi	MATLAB
01.00	1447.55	1447.64
02.00	1409.4	1409.49
03.00	1371.6	1371.53
04.00	1409.4	1409.49
05.00	1447.55	1447.64
06.00	1222.01	1222.1
07.00	1259.21	1259.3
08.00	1371.6	1371.53
09.00	1409.4	1409.49
10.00	1409.4	1409.49
11.00	1371.6	1371.53
12.00	1334.1	1334.19
13.00	1371.6	1371.53
14.00	1371.6	1371.53
15.00	1334.1	1334.19
16.00	1409.4	1409.49
17.00	1596.9	1596.96
18.00	1908.59	1908.67
19.00	1948.47	1948.54
20.00	1908.59	1908.67
21.00	1828.32	1828.41
22.00	1596.9	1596.96
23.00	1524.05	1524.15
24.00	1485.68	1485.77

Dari data tabel 4.8 diatas, dapat dilihat bila data DED 24 jam *di-running*, hasil dari pengembangan Delphi akan menyamai dengan hasil MATLAB. Hal ini membuktikan bahwa *software* ini sudah layak digunakan. Ada sedikit perbedaan hasil Delphi dan MATLAB, dikarenakan Delphi tidak bisa menghitung sedetail MATLAB. Terdapat beberapa perbedaan cara perhitungan matematis yang ada pada MATLAB dan Delphi. Perhitungan matematis pada MATLAB sangat mudah, sedangkan pad Delphi terdapat beberapa perhitungan matematis yang tidak didukung atau harus dibuat dengan bahasanya sendiri. Dalam bentuk grafik hasilnya akan seperti gambar berikut



**Gambar 4.5** Perbandingan grafik total biaya pembangkitan

Matriks Bloss merupakan total rugi-rugi yang dijadikan dalam bentuk matriks dari hasil analisa aliran daya metode Newton Raphson. Sehingga, bila hasil rugi-rugi daya yang didapat dari matriks Bloss akan sama dengan hasil rugi-rugi. Berikut merupakan perbandingan antara total rugi-rugi daya Bloss dengan rugi-rugi daya analisis aliran daya Newton Raphson dengan menggunakan perhitungan Delphi, terdapat sedikit perbedaan antara rugi-rugi daya Bloss dengan analisa aliran daya dikarenakan karena dalam proses perhitungannya Delphi kurang cermat untuk menghitung beberapa angka dibelakang koma.

**Tabel 4.9** Perbandingan Rugi-Rugi Daya

Jam	Rugi-Rugi Daya Bloss (MW)	Rugi-Rugi Daya Analisis aliran daya (MW)
01.00	1.888	1.898
02.00	1.8119	1.822
03.00	1.7603	1.771
04.00	1.8119	1.822
05.00	1.88205	1.898
06.00	1.4927	1.503
07.00	1.57181	1.584
08.00	1.7603	1.771

Jam	Rugi-Rugi Daya Bloss (MW)	Rugi-Rugi Daya Analisis aliran daya (MW)
09.00	1.8119	1.822
10.00	1.8119	1.822
11.00	1.75717	1.771
12.00	1.719	1.729
13.00	1.7603	1.771
14.00	1.7603	1.771
15.00	1.719	1.729
16.00	1.8119	1.822
17.00	2.1458	2.156
18.00	3.1176	3.126
19.00	3.2769	3.285
20.00	3.1176	3.126
21.00	2.6417	2.652
22.00	2.1458	2.156
23.00	1.9774	1.988
24.00	1.9318	1.942

Selain membandingkan hasil akhir dengan MATLAB, hasil akhir perhitungan DED akan dibandingkan dengan hasil analisis aliran daya newton raphson dari segi perhitungan biaya pembangkitan pada beban dan interval waktu yang sama. Perbandingan antara hasil perhitungan DED dan analisa aliran daya ini menggunakan hasil perhitungan pada Delphi karena menganggap hasil Delphi dengan MATLAB sudah sama.

**Tabel 4.10** Selisih Perhitungan DED dan Analisa Aliran Daya

Jam	Perhitungan DED (\$/h)	Perhitungan Aliran daya(\$/h)	Selisih (\$/h)
01.00	1447.55	1464.36	16.81
02.00	1409.4	1423.26	13.86
03.00	1371.6	1382.84	11.24
04.00	1409.4	1423.26	13.86
05.00	1447.55	1464.36	16.81
06.00	1222.01	1225.67	3.66
07.00	1259.21	1264.34	5.13
08.00	1371.6	1382.84	11.24

Jam	Perhitungan DED (\$/h)	Perhitungan Aliran daya (\$/h)	Selisih (\$/h)
09.00	1409.4	1423.26	13.86
10.00	1409.4	1423.26	13.86
11.00	1371.6	1382.84	11.24
12.00	1334.1	1342.99	8.89
13.00	1371.6	1382.84	11.24
14.00	1371.6	1382.84	11.24
15.00	1334.1	1342.99	8.89
16.00	1409.4	1423.26	13.86
17.00	1596.9	1633.24	36.34
18.00	1908.59	1997.69	89.10
19.00	1948.47	2045.74	97.27
20.00	1908.59	1997.69	89.10
21.00	1828.32	1902.62	74.30
22.00	1596.9	1633.24	36.34
23.00	1524.05	1547.57	23.52
24.00	1485.68	1505.67	19.99

Dari tabel 4.10 tersebut dapat dilihat terdapat perbedaan biaya yang cukup besar antara hasil perhitungan DED dan hasil perhitungan dengan analisa aliran daya saja. Semakin besar daya beban yang akan dipenuhi, maka semakin besar daya pembangkitnya sehingga semakin besar pula selisih biaya yang akan terjadi. Demikian juga sebaliknya, terlihat pada tabel, semakin kecil daya beban, maka perhitungannya juga akan semakin murah. Dengan melakukan perhitungan DED, maka dapat dilakukan penghematan biaya pembangkitan.

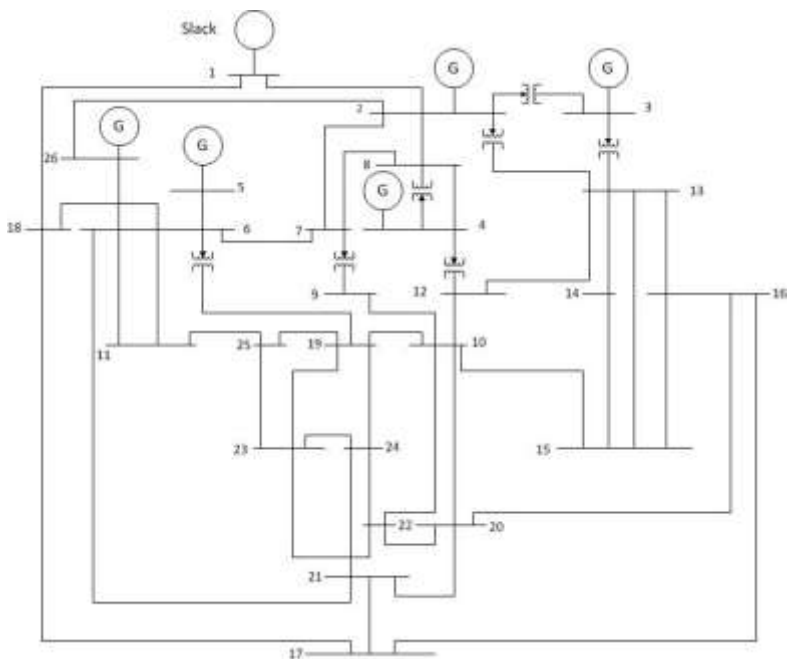
Hal ini terjadi karena perbedaan besarnya daya pada masing-masing pembangkit untuk memenuhi daya beban tertentu sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan biaya, karena pada masing-masing pembangkit terdapat persamaan total biaya pembangkitan yang berbeda-beda. Pada perhitungan DED, daya pada masing-masing pembangkit dihitung sehingga menghasilkan kombinasi termurah dalam memenuhi daya beban pada waktu tersebut. Sebagai contoh, pada jam beban puncak yaitu pada jam 19.00 dengan beban 195MW, daya pembangkitan yang dihasilkan oleh setiap pembangkit pada masing-masing perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.11. Pada tabel tersebut dapat dilihat biaya yang dihemat sebesar 97.27 \$/h.

**Tabel 4.11** Selisih biaya perhitungan DED dengan analisa aliran daya

	Perhitungan DED	Analisa aliran daya
Pembangkit 1 (MW)	48.2747	130.422
Pembangkit 2 (MW)	80	40
Pembangkit 3 (MW)	70	30
Total Biaya (\$/h)	1948.47	2045.74

## 4.2 Kasus 6 Pembangkit 26 Bus

Pada kasus 2 ini dilakukan uji coba terhadap kasus plant yang jauh lebih besar dari kasus 1, untuk menguji validasi dari Delphi yang dikembangkan. Pada kasus ini digunakan data-data dari referensi [8] kasus 7.11 dan mempunyai single-line diagram seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 4.6** Single-Line Diagram 6 Pembangkit 26 Bus

Data-data bus, linedata , biaya pembangkitan dan batasan minimal dan maksimal pembangkit sebagai berikut:

**Tabel 4.12** Tabel busdata 6 Pembangkit 26 Bus

Dari Bus	Ke Bus	Voltage Mag	Angle Degree	Load		Generation				Injected
				MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar
1	1	1.025	0	51	41	0	0	0	0	4
2	2	1.02	0	22	15	79	0	40	250	0
3	2	1.025	0	64	50	20	0	40	150	0
4	2	1.05	0	25	10	100	0	25	180	2
5	2	1.045	0	50	30	300	0	40	160	5
6	0	1	0	76	29	0	0	0	0	2
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	89	50	0	0	0	0	3
10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	25	15	0	0	0	0	1.5
12	0	1	0	89	48	0	0	0	0	2
13	0	1	0	31	15	0	0	0	0	0
14	0	1	0	24	12	0	0	0	0	0
15	0	1	0	70	31	0	0	0	0	0.5
16	0	1	0	55	27	0	0	0	0	0
17	0	1	0	78	38	0	0	0	0	0
18	0	1	0	153	67	0	0	0	0	0
19	0	1	0	75	15	0	0	0	0	5
20	0	1	0	48	27	0	0	0	0	0
21	0	1	0	46	23	0	0	0	0	0
22	0	1	0	45	22	0	0	0	0	0
23	0	1	0	25	12	0	0	0	0	0
24	0	1	0	54	27	0	0	0	0	0
25	0	1	0	28	13	0	0	0	0	0
26	2	1.015	0	40	20	60	0	15	50	0

**Tabel 4.13** Tabel Linedata

Bus nl	Bus nr	R pu	X pu	½ B pu	Tap setting Value
1	2	0.00055	0.0048	0.03	1
1	18	0.0013	0.0115	0.06	1
2	3	0.00146	0.0513	0.05	0.96
2	7	0.0103	0.0586	0.018	1
2	8	0.0074	0.0321	0.039	1
2	13	0.00357	0.0967	0.025	0.96
2	26	0.0323	0.1967	0	1
3	13	0.0007	0.00548	0.0005	1.017
4	8	0.0008	0.024	0.0001	1.05
4	12	0.0016	0.0207	0.015	1.05
5	6	0.0069	0.03	0.099	1
6	7	0.00535	0.0306	0.00105	1
6	11	0.0097	0.057	0.0001	1
6	18	0.00374	0.0222	0.0012	1
6	19	0.0035	0.066	0.045	0.95
6	21	0.005	0.09	0.0226	1
7	8	0.0012	0.00693	0.0001	1
7	9	0.00095	0.0429	0.025	0.95
8	12	0.002	0.018	0.02	1
9	10	0.00104	0.0493	0.001	1
10	12	0.00247	0.0132	0.01	1
10	19	0.0547	0.236	0	1
10	20	0.0066	0.016	0.001	1
10	22	0.0069	0.0298	0.005	1
11	25	0.096	0.27	0.01	1
11	26	0.0165	0.097	0.004	1
12	14	0.0327	0.0802	0	1
12	15	0.018	0.0598	0	1
13	14	0.0046	0.0271	0.001	1
13	15	0.0116	0.061	0	1
13	16	0.01793	0.0888	0.001	1
14	15	0.0069	0.0382	0	1
15	16	0.0209	0.0512	0	1
16	17	0.099	0.06	0	1

Bus nl	Bus nr	R pu	X pu	$\frac{1}{2}$ B pu	Tap setting Value
16	20	0.0239	0.0585	0	1
17	18	0.0032	0.06	0.038	1
17	21	0.229	0.445	0	1
19	23	0.03	0.131	0	1
19	24	0.03	0.125	0.002	1
19	25	0.119	0.2249	0.004	1
20	21	0.0657	0.157	0	1
20	22	0.015	0.0366	0	1
21	24	0.0476	0.151	0	1
22	23	0.029	0.099	0	1
22	24	0.031	0.088	0	1
23	25	0.0987	0.1168	0	1

**Tabel 4.14** Tabel koefisien *cost* pembangkit

$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
240	7	0.007
200	10	0.0095
220	8.5	0.009
200	11	0.009
220	10.5	0.008
190	12	0.0075

**Tabel 4.15** Tabel batasan daya pembangkit

MW min	MW max
100	500
50	200
80	300
50	150
50	200
50	120

Sama seperti dengan kasus sebelumnya, data-data diatas akan *dirunning* di Delphi, yaitu di *Powergen*, kemudian memilih menu “DED+Bloss” lalu mengisi data-data yang sesuai dengan tabel-tabel diatas. Hasilnya nanti akan dibandingkan dengan hasil MATLAB sebagai proses validasi data.



**Tabel 4.16** Hasil perhitungan Delphi dan MATLAB pada beban 1263 MW

	Delphi	MATLAB
P1	447.6877 MW	446.7880 MW
P2	173.1916 MW	173.4146 MW
P3	263.4832 MW	263.9342 MW
P4	138.813 MW	139.1229 MW
P5	165.5861 MW	165.4124 MW
P6	87.0239 MW	87.2557 MW
Lambda	13.538078 \$/MWh	13.539037 \$/MWh
Gencost	15447.53 \$/h	15449.52 \$/h

Hasil diatas merupakan hasil perhitunga DED yang telah optimal. Pada hasil diatas dapat dilihat hasil Delphi sedikit lebih jauh perbedaannya dibandingkan dengan kasus pertama. Namun karena perbedaannya tidak terlalu signifikan untuk plant sebesar ini, perbedaan tersebut dapat ditoleransi. Perbedaan hasil ini disebabkan karena menggunakan plant yang lebih besar dibandingkan kasus pertama. Hal ini dikarenakan pada *software* Delphi proses perhitungannya tidak bisa detail seperti MATLAB.

Dikarenakan hasil akhir dari perhitungan pada Delphi dan MATLAB hampir sama, maka hasil matriks *Bloss* kedua program juga dianggap sudah menyerupai, bila ada perbedaan beberapa angka di belakang koma yang tidak terlalu berpengaruh.

Tabel 4.16 diatas menunjukkan hasil perhitungan untuk beban total 1263 MW. Beban ini menunjukkan beban untuk 1 jam saja. Untuk perhitungan DED, akan dilakukan percobaan 24 periode interval per jam. Untuk kenaikan dan penurunan bebannya mengikuti kurva beban harian jawa-bali berdasarkan bentuk kurva dari P3B pada tanggal 12 Mei 2013 dengan memperhatikan batas minimum dan maksimum yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit yang ada di plant tersebut. Perubahan yang dilakukan hanya daya real beban saja. Kenaikan dan penurunan beban ini ditentukan tanpa menyebabkan adanya penambahan atau pengurangan pembangkit atau terjadinya *Unit Commitment* diantara pembangkit tersebut, karena pada tugas akhir ini tidak membahas tentang *Unit Commitment*.

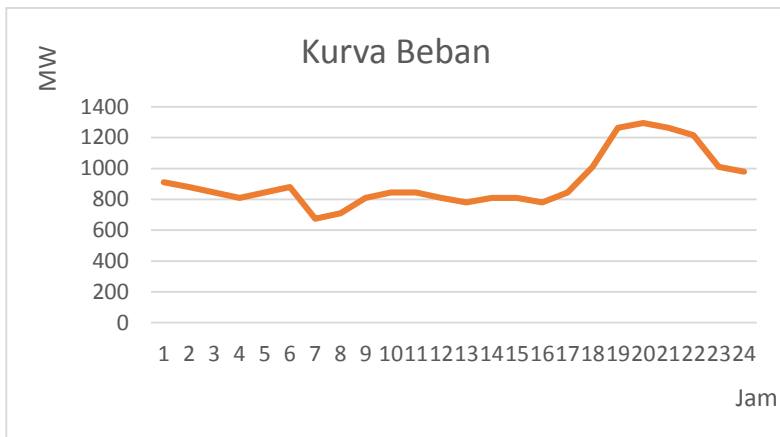
Pada kasus ini data pembagian beban pada setiap bus tidak ditampilkan karena datanya yang banyak dan besar sehingga tidak bisa ditampilkan, tetapi daya totalnya saja yang akan diperlihatkan. Untuk

pembagian bebannya tetap sama dengan kasus sebelumnya yaitu dibagi rata ke setiap bus yang mempunyai beban agar menghasilkan nilai yang seimbang.

**Tabel 4.17** Kurva Beban Harian 24 jam

Jam	Total (mw)
01.00	910
02.00	880
03.00	845
04.00	810
05.00	845
06.00	880
07.00	675
08.00	710
09.00	810
10.00	845
11.00	845
12.00	810
13.00	780
14.00	810
15.00	810
16.00	780
17.00	845
18.00	1010
19.00	1263
20.00	1295
21.00	1263
22.00	1215
23.00	1010
24.00	980

Data beban diatas apabila dibentuk dalam kurva akan menyerupai kurva harian jaw-bali sesuai data yang dikeluarkan oleh P3B pada tanggal 12 Mei 2013. Bentuk kurvanya dapat dilihat pada gambar berikut



**Gambar 4.7** Kurva beban 24 jam

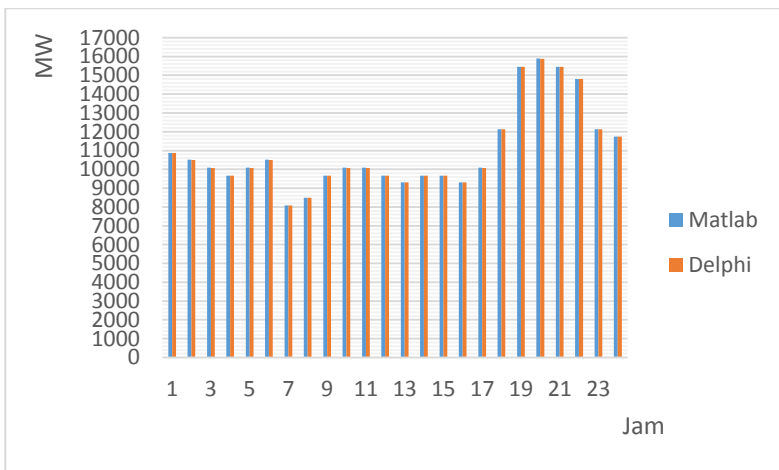
Data 24 jam tersebut diinput pada *Powergen* dan *MATLAB* sebagai pembanding dan kemudian di*running* sehingga menghasilkan data sebagai berikut

**Tabel 4.18** Tabel hasil perhitungan DED 24 jam

JAM	Biaya Pembangkitan (\$/h)	
	Delphi	MATLAB
01.00	10869.85	10876.45
02.00	10506.77	10508.52
03.00	10081.66	10083.41
04.00	9663.07	9663.38
05.00	10081.66	10083.41
06.00	10506.77	10508.52
07.00	8086.41	8081.29
08.00	8483.32	8484.86
09.00	9663.07	9663.38
10.00	10081.66	10083.41
11.00	10081.66	10083.41
12.00	9663.07	9663.38
13.00	9306.26	9307.31
14.00	9663.07	9663.38

JAM	Biaya Pembangkitan (\$/h)	
	Delphi	MATLAB
15.00	9663.07	9663.38
16.00	9306.26	9307.31
17.00	10081.66	10083.41
18.00	12128.91	12128.72
19.00	15447.53	15449.52
20.00	15882.66	15884.66
21.00	15447.53	15449.52
22.00	14802.95	14804.89
23.00	12128.91	12128.72
24.00	11746.86	11748.65

Dari data tabel 4.18 diatas, dapat dilihat bila data DED 24 jam di-*running*, hasil dari pengembangan Delphi memiliki sedikit perbedaan dengan hasil MATLAB. Perbedaannya sangat kecil bila dibandingkan dengan plant yang dianalisis yang lumayan besar, sehingga perbedaan ini dapat ditoleransi. Hal ini membuktikan bahwa *software* ini sudah layak digunakan. Ada sedikit perbedaan hasil Delphi dan MATLAB, dikarenakan Delphi tidak bisa menghitung sedetail MATLAB. Dalam bentuk grafik hasilnya akan seperti gambar berikut



**Gambar 4.8** Kurva Hasil Perhitungan DED 24 jam

Seperti yang sudah dijelaskan di kasus 1, matriks Bloss merupakan total rugi-rugi yang dijadikan dalam bentuk matriks dari hasil analisa aliran daya metode Newton Raphson. Sehingga, bila hasil rugi-rugi daya yang didapat dari matriks Bloss akan sama dengan hasil rugi-rugi. Berikut merupakan perbandingan antara total rugi-rugi daya Bloss dengan rugi-rugi daya analisis aliran daya Newton Raphson pada kasus 2 dengan menggunakan perhitungan Delphi, terdapat sedikit perbedaan dikarenakan karena dalam proses perhitungannya Delphi kurang cermat untuk menghitung beberapa angka dibelakang koma.

**Tabel 4.19** Perbandingan Rugi-Rugi Daya

Jam	Rugi-Rugi Daya Bloss (MW)	Rugi-Rugi Daya Analisis aliran daya (MW)
01.00	7.5655	7.588
02.00	7.2493	7.272
03.00	7.0651	7.087
04.00	7.2493	7.272
05.00	7.5655	7.588
06.00	5.8161	5.837
07.00	6.0404	6.063
08.00	7.0651	7.087
09.00	7.2493	7.272
10.00	7.2493	7.272
11.00	7.05892	7.087
12.00	6.8299	6.852
13.00	7.0651	7.087
14.00	7.0651	7.087
15.00	6.8299	6.852
16.00	7.2493	7.272
17.00	9.1551	9.178
18.00	12.7927	12.809
19.00	13.4224	13.44
20.00	12.7927	12,809
21.00	12.0449	12.061
22.00	9.1551	9,178
23.00	8.6313	8.655
24.00	7.5893	7.605

Selain membandingkan hasil akhir dengan MATLAB, hasil akhir perhitungan DED akan dibandingkan dengan hasil analisis aliran daya newton raphson dari segi perhitungan biaya pembangkitan pada beban dan interval waktu yang sama. Perbandingan antara hasil perhitungan DED dan analisa aliran daya ini menggunakan hasil perhitungan pada *software* Delphi karena menganggap hasil Delphi dengan MATLAB sudah sama. Tujuan perbandingan ini adalah untuk melihat selisih biaya yang dapat dihemat apabila menggunakan perhitungan DED dan analisis aliran daya.

**Tabel 4.20** Selisih perhitungan DED dan perhitungan aliran daya

Jam	Perhitungan DED (\$/h)	Perhitungan Aliran daya(\$/h)	Selisih (\$/h)
01.00	10869.85	11543.52	673.67
02.00	10506.77	11185.66	678.89
03.00	10081.66	10784.43	702.77
04.00	9663.07	10398.54	735.47
05.00	10081.66	10784.43	702.77
06.00	10506.77	11185.66	678.89
07.00	8086.41	9085.64	999.23
08.00	8483.32	9400.89	917.57
09.00	9663.07	10398.54	735.47
10.00	10081.66	10784.43	702.77
11.00	10081.66	10784.43	702.77
12.00	9663.07	10398.54	735.47
13.00	9306.26	10084.08	777.82
14.00	9663.07	10398.54	735.47
15.00	9663.07	10398.54	735.47
16.00	9306.26	10084.08	777.82
17.00	10081.66	10784.43	702.77
18.00	12128.91	12833.78	704.87
19.00	15447.53	16760.63	1313.1
20.00	15882.66	17327.78	1445.12
21.00	15447.53	16760.63	1313.1
22.00	14802.95	15941.48	1138.53
23.00	12128.91	12833.78	704.87
24.00	11746.86	12430.73	683.87

Dari tabel 4.20 tersebut dapat dilihat terdapat perbedaan biaya yang cukup besar antara hasil perhitungan DED dan hasil perhitungan dengan analisa aliran daya saja. Semakin besar daya beban yang akan dipenuhi, maka semakin besar daya pembangkitnya sehingga semakin besar pula selisih biaya yang akan terjadi. Dengan melakukan perhitungan DED, maka dapat dilakukan penghematan biaya pembangkitan yang lumayan besar dan dapat digunakan untuk kegunaan yang lain.

Hal ini dapat terjadi karena perbedaan besarnya daya pada masing-masing pembangkit sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan biaya, karena pada masing-masing pembangkit terdapat persamaan total biaya pembangkitan yang berbeda-beda. Pada perhitungan DED, daya pada masing-masing pembangkit dihitung sehingga menghasilkan kombinasi termurah dalam memenuhi daya beban pada waktu tersebut. Sebagai contoh, pada jam beban puncak pada kasus ini yaitu pada jam 19.00 dengan beban total 1295MW.

**Tabel 4.21** Perbedaan hasil perhitungan DED dan analisa aliran daya

	Perhitungan DED	Analisa aliran daya
Pembangkit 1 (MW)	454.1023	752.306
Pembangkit 2 (MW)	177.9385	79
Pembangkit 3 (MW)	268.4447	20
Pembangkit 4 (MW)	144.0607	100
Pembangkit 5 (MW)	171.3146	300
Pembangkit 6 (MW)	92.5562	60
Total Biaya (\$/h)	15882.66	17327.78

Pada tabel 4.21 tersebut dapat dilihat perbedaan daya yang dihasilkan oleh masing-masing pembangkit. Perbedaan besar daya inilah yang mengakibatkan perbedaan total biaya pembangkitan yang dihasilkan untuk memenuhi besar daya beban yang sama. Pada kasus ini untuk memenuhi kebutuhan beban sebesar 1295 MW, dengan menggunakan perhitungan DED yang mempertimbangkan *losses*, dapat menghemat biaya sebesar  $17327.78\$/h - 15882.66\$/h = 1445.12\$/h$ . Angka yang lumayan besar yang dapat digunakan untuk keperluan yang lain. Oleh karena itu dengan menggunakan perhitungan DED yang memperhitungkan daya rugi-rugi hasil analisa aliran daya dapat menghemat anggaran biaya yang cukup besar bila dibandingkan dengan hasil analisa aliran daya saja.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari semua proses pengerjaan tugas akhir yang telah dilalui mulai dari studi literature, perancangan dan simulasi maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan terkait dengan tugas akhir ini, yaitu:

1. *Software* Delphi yang dikembangkan yaitu *Powergen* telah bisa melakukan perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* dengan memperhitungkan rugi-rugi transmisi yang didapat dari hasil analisis daya Newton Raphson. Hal ini telah dibuktikan dengan mencocokkan hasil *output* Delphi dengan MATLAB.
2. Rugi-rugi transmisi yang digunakan dalam perhitungan DED didapat dari analisis aliran daya dari plant yang akan dihitung biaya pembangkitannya, sehingga biaya pembangkitan yang didapat benar-benar real dan akurat.
3. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa total biaya pembangkitan yang didapat dari hasil analisis aliran daya Newton Raphson lebih mahal daripada perhitungan DED yang memperhitungkan rugi-rugi transmisi. Hal ini dikarenakan perbedaan daya yang dihasilkan oleh masing-masing pembangkit pada kedua perhitungan tersebut. Setiap pembangkit memiliki fungsi biaya masing-masing, sehingga apabila terdapat perbedaan daya yang dihasilkan masing-masing pembangkit, akan menyebabkan perbedaan biaya pembangkitan total.
4. Semakin besar plant dan daya beban yang dibutuhkan, maka perbedaan biaya yang dihasilkan oleh perhitungan analisa aliran daya Newton Raphson dan perhitungan DED yang mempertimbangkan rugi-rugi transmisi akan semakin besar, demikian juga sebaliknya.
5. Hasil akhir dari aplikasi perhitungan yang dikembangkan ini dapat digunakan untuk meng-*upgrade* aplikasi *Powergen* yang selama ini digunakan dalam mata kuliah Operasi Optimum Sistem Tenaga Listrik

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini yaitu:

1. Pemahaman mengenai *Software* Delphi yang lebih mendalam agar selisih biaya yang dihasilkan antara Delphi dan MATLAB untuk plant yang lebih besar dari yang dibahas pada tugas akhir ini menjadi lebih kecil/sedikit.
2. Aplikasi DED dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi ini dapat dikembangkan dengan menggunakan metode yang berbeda sehingga dapat menjadi perbandingan kedepannya.

## LAMPIRAN

- Lembar Pengesahan Proposal

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri – ITS

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Azfar Muhammad  
Nomor Pokok : 2213 106 004  
Bidang Studi : Teknik Sistem Tenaga  
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2015/2016  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

16 SEP 2015

Judul Tugas Akhir : **Integrasi Perhitungan Rugi-Rugi Transmisi Pada Dynamic Economic Dispatch Menggunakan Metode Lagrange**

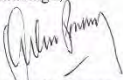
*(Integration of Transmission Losses Calculation for Dynamic Economic Dispatch Using Lagrange Method).*

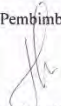
### URAIAN TUGAS AKHIR

Economic Dispatch (ED) merupakan analisis perhitungan yang bertujuan untuk mencari biaya pembangkitan yang minimal. Adanya perubahan fungsi waktu dan beban akan menghasilkan Dynamic Economic Dispatch (DED). Pada tugas akhir ini akan memperhitungkan rugi-rugi transmisi pada setiap perubahan fungsi waktu dan beban tersebut, tidak menggunakan rugi-rugi transmisi yang sudah dianggap optimal. Tugas akhir ini akan menggunakan rugi-rugi transmisi yang dihitung dan menggunakan metode lagrange untuk mendapatkan perhitungan biaya minimal pada DED. Metode Lagrange ini akan diterapkan dalam aplikasi software yang dikembangkan berbasis Delphi yang bertujuan untuk mempermudah user dalam mencari DED. Referensi dari plant digunakan sebagai uji coba software yang dikembangkan untuk perhitungan DED yang menjadi tujuan dari pembuatan tugas akhir ini.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

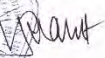
  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc. Ph.D  
NIP. 194907151974121001


  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
NIP. 197411292000121001

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS  
Ketua,

Menyetujui,  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Koordinator,



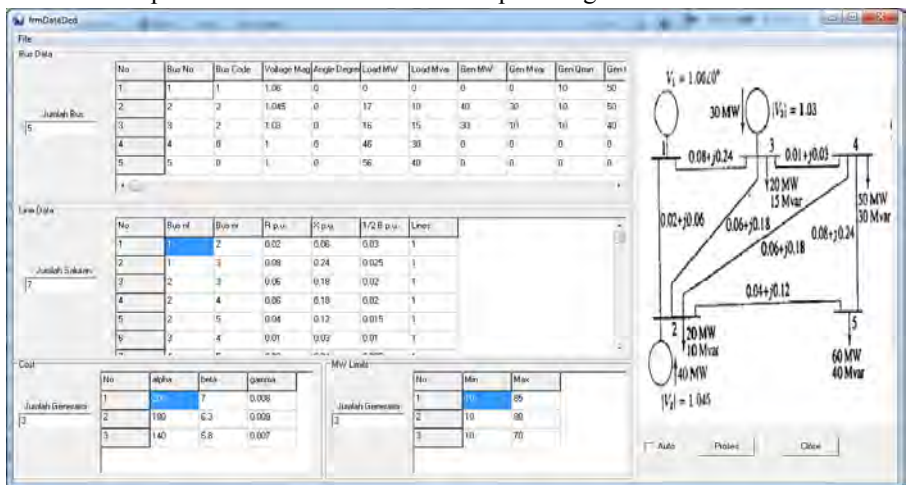
  
Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.  
NIP. 197002121995121001

  
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.  
NIP. 195512071980031004

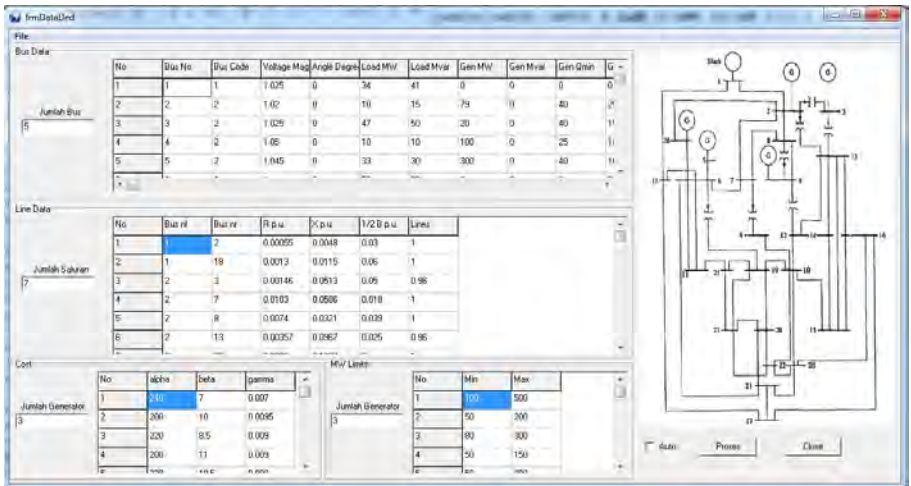
- Tampilan awal Powergen



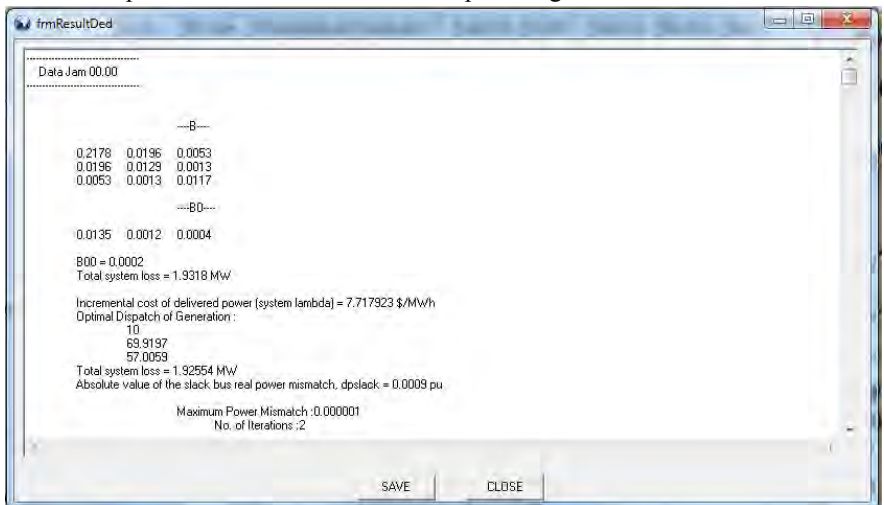
- Tampilan menu DED+Bloss kasus 3 pembangkit 5 bus



- Tampilan menu DED+Bloss kasus 6 pembangkit 26 bus



- Tampilan hasil DED+Bloss kasus 3 pembangkit 5 bus



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wood Allen J, Wollenberg Bruce F, (2014), “*Power Generation, Operational, and Control*”, Third Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc.
- [2] Jizhong Zhu, “*Optimization of Power System Operation*”, IEEE press series on Power engineering, OPSO, John Wiley & Sons Inc, America, 2009
- [3] R. Ramanathan, “*Fast Economic Dispatch Based on the Penalty Factors From Newton’s Method*”, IEEE. 1985.
- [4] Abbas Rabiee, Behnam Mohammadi-Ivatloo, Member, IEEE, and Mohammad Moradi-Dalvand, “*Fast Dynamic Economic Power Dispatch Problems Solution Via Optimality Condition Decomposition*” IEEE, 2014.
- [5] Khalid Mohamed-Nor, Abdul Halim Abdul Rashid, “*Efficient Economic Dispatch Algorithm For Thermal Unit Commitment*”, IEEE. 1991.
- [6] H.H. Happ, “*Optimal Power Dispatch-A Comprehensive Survey*”, IEEE. 1977.
- [7] Kadir, Abdul. “*Buku Pintar Pemrograman Delphi*”, Mediakom, Jakarta. 2014.
- [8] Saadat, Hadi. “*Power System Analysis 2nd Edition*”, McGrawHill, Ch.1, 1999

## RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Azfar Muhammad dan biasa dipanggil Azfar. Lahir di Kota Medan pada tanggal 6 Agustus 1993. Penulis mengawali pendidikan Sekolah dasar di SD Al-Ulum Medan selama 5 tahun, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Al-Ulum Medan selama 3 tahun, serta menempuh pendidikan di SMA Al-Ulum Medan selama 3 tahun. Setelah lulus dari SMA, Penulis melanjutkan kuliah Program Diploma 3 (D3) jurusan Teknik Telekomunikasi di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) selama 3 tahun dan lulus tahun 2013. Setelah menyelesaikan program Diploma 3, Penulis melanjutkan kuliah Program Sarjana Lintas Jalur (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah Penulis aktif mengikuti seminar dan pelatihan. Jika ada keperluan bisa menghubungi di email [azfarmuhammad06@yahoo.co.id](mailto:azfarmuhammad06@yahoo.co.id)